

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université A. Mira de Bejaia



Faculté de Technologie  
Département de Génie des procédés

## Mémoire EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE Master

Domaine : Science et Technologie Filière : Génie des Procédés  
Spécialité : Génie Alimentaire

Présenté par

M<sup>elle</sup> BOUCHALA Mounira et M<sup>elle</sup> BENZAZZOUZE Ouahiba

*Thème*

*Evaluation des propriétés physico-chimiques, antioxydantes,  
fonctionnelles et sensorielles de quelques farines des légumineuses*

Soutenue le 06/07/2022

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade		
M <sup>r</sup> MOKRANI Abderrahmane	MCA	Université de Bejaia	Président
M <sup>me</sup> BEY Zakia	MAA	Université de Bejaia	Examinatrice
M <sup>me</sup> ARKOUB Lynda	MCA	Université de Bejaia	Encadrent

Année Universitaire : 2021/2022

# Remerciements

*Tout d'abord, nous exprimons nos remerciements au bon Dieu de nous avoir donné le courage et la force pour terminer notre travail et pour sa bienveillance.*

*Nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements et notre sincère gratitude à notre promotrice Dr. ARKOUB L. pour la qualité de son encadrement, sa constante disponibilité, son sérieux, ses encouragements et ses conseils très précieux nous sommes très reconnaissantes de la confiance qu'elle nous accordé.*

*Nous tenons d'autre part à remercier Mr MOKRANI A. et Mme BEY Z. pour bien vouloir nous accorder de leur temps précieux, pour commenter, discuter et juger notre travail.*

*Nous présentons nos sincères remerciements aux ingénieurs de laboratoire de la faculté de Technologie pour leur encouragement, et leur accueil durant toute la durée de pratique afin de mener bien ce projet.*

*Nos vives gratitude s'adressent à tous ceux qui ont participé de loin ou de près, à la réalisation de notre mémoire de fin de cycle.*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*A mon père que Dieu accueille ton âme dans son vaste paradis Inchallah ;*

*A ma mère, la lumière de ma vie ;*

*A mes chères frères et sœurs : Zina, Zinedine, Fouad, bariza, Siham  
et houhou et ziiina. Que Dieu les garde et les protège tous ;*

*A toute ma famille ;*

*A Toutes mes amies ;*

*A toute la promotion Génie Alimentaire (2021/2022).*

***Mounira***

# *Dédicaces*

*Je dédie ce travail qui est le fruit des années d'études qui sont pleines de réussite,  
d'amour, de joie et de bonheur, A toute ma famille et à tous ceux que j'aime.*

*Spécialement à ceux qui m'ont aidé dans toutes les phases de ma vie.*

*Et qui s'est sacrifiée pour mon éducation et pour mon bien être ma chère mère, Et mon  
cher père pour son soutien tout au long de mon parcours et son encouragement ; toutes les  
lettres ne seraient trouver les mots qu'il faut, et tous les mots ne seraient exprimer la  
gratitude.*

*A tous mes chers frères « **Samy, Kamal, Adam** ».*

*A Ma cousine « **Linda** ».*

*A Ma binôme « **Mounira** » et toute sa famille.*

*A tous mes amis proches et la promotion 2021-2022.*

*A tous ceux qui m'aiment. A tous ceux que j'aime.*

*Que dieu les garde tous et les protège.*

***Ouahiba***

## *Liste des abréviations*

**ABTS** : Acide 2, 2-Azobis –ethylBenzo Thiazoline-6-Sulphonide

**AE** : Activité Emulsifiante

**AFNOR** : Association Française de Normalisation

**AM** : Activité Moussante

**CAE** : Capacité d’Absorption d’Eau

**CAH** : Capacité d’Absorption d’Huile

**CALE** : Capacité d’Absorption de Lait entier

**CALTE** : Capacité d’Absorption de Lait Totalement Ecrémé

**CF** : Clarté des Farines

**CG** : Capacité de Gonflement

**DPPH** : 2, 2-Diphényl-1-Picrylhydrazyl

**EAG** : Equivalant Acide Gallique

**EQ** : Equivalent Quercétine

**FLNG** : Farine de Lentilles Noires Grillées

**FLNNG** : Farine de Lentilles Noires Non grillé

**FLRG** : Farine de Lentilles Rouges Grillées

**FLRNG** : Farine de Lentilles Rouges Non Grillées

**FPCG** : Farine de Pois Chiches grillées

**FPCNG** : Farine de Pois Chiche Non grillées

**FPPG** : Farine de Petits Pois grillées

**FPPNG** : Farine de Petits Pois Non Grillées

**SE** : Stabilité des Emulsions

**SM** : Stabilité de la Mousse

## *Liste des figures*

<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>1</b>	Morphologie de la plante de lentille	03
<b>2</b>	Les différentes variétés de lentille	04
<b>3</b>	Description de la plante de pois chiche	07
<b>4</b>	Etapes de développement de pois chiche	08
<b>5</b>	Variétés de pois chiche	09
<b>6</b>	Morphologie de petit pois	12
<b>7</b>	Photographie des échantillons de légumineuses sec	15
<b>8</b>	Photographie des échantillons de légumineuses après torréfaction	15
<b>9</b>	Photographie du poste d'évaluation sensorielle	23
<b>10</b>	Teneurs en polyphénols des extraits de farines de légumineuses étudiées.	30
<b>11</b>	Teneurs en flavonoïdes des extraits de farines de légumineuses étudiées.	30
<b>12</b>	Teneurs en flavonols des extraits de farines de légumineuses étudiées	31
<b>13</b>	Teneurs en tanins condensés des extraits de farines de légumineuses étudiées	32
<b>14</b>	Activité anti radicalaire DPPH des extraits de farines de légumineuses étudiées.	33
<b>15</b>	Inhibition du radical ABTS des extraits de farines de légumineuses étudiées.	34
<b>16</b>	Corrélations entre les variables et les facteurs	35
<b>17</b>	Courbe de niveau et carte de préférence	36

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>I</b>	Différents composante de lentille	04
<b>II</b>	Différents composante de pois chiche	09
<b>III</b>	Composition physico-chimique du petit pois ( <b>Vierling, 2008</b> )	13
<b>IV</b>	Paramètres physico-chimiques des farines de légumineuses étudiées	24
<b>V</b>	Caractérisation phytochimique des extraits de poudres de légumineuses étudiées	25
<b>VI</b>	Propriétés fonctionnelles des farines de légumineuses étudiées	26
<b>VII</b>	Pourcentage de juges satisfaites pour chaque produit	36

## SOMMAIRE

### Liste des abréviations

### Liste des figures

### Liste des tableaux

Introduction.....	1
-------------------	---

### *Synthèse bibliographique*

#### **I. Lentilles**

I.1. Description botanique.....	2
I.2. Classification .....	2
I.3. Morphologie .....	3
I.4. Variétés de lentilles.....	3
I.5. Composition et valeur nutritionnelle.....	4
I.6. Antioxydants des lentilles.....	5
I.7. Facteurs antinutritionnel de lentilles.....	5
I.8. Bienfaits de la consommation de lentilles.....	6

#### **II. Pois chiches**

II.1. Description botanique .....	7
II.2. Classification .....	7
II.3. Morphologie.....	8
II.4. Variétés de pois chiche .....	9
II.5. Composition et valeur nutritionnelle.....	9
II.6. Antioxydants de pois chiche.....	9
II.7. Facteurs antinutritionnel de pois chiche.....	9
II.8. Bienfaits de la consommation de pois chiche sur le corps .....	10

#### **III. Petit pois**

III.1. Description botanique .....	11
III.2. Classification .....	11
III.3. Morphologie .....	11
III.4. Variétés de petits pois.....	13
III.5. Composition et valeur nutritionnelle.....	13
III.6. Antioxydants de petit pois.....	13
III.7. Facteurs antinutritionnel de petit pois.....	14
III.8. Bienfaits de la consommation de petits pois sur le corps.....	14

## SOMMAIRE

### *Partie expérimentale*

#### *IV. Matériel et méthodes*

IV.I. Matériel biologique .....	15
IV .2.Traitement des échantillons	
IV.3. Paramètres physico-chimiques	
IV.3.1. pH.....	16
IV.3.2. Humidité.....	16
IV.4. Tests préliminaires	
Identification des irridoides.....	17
Identification des saponosides.....	17
Composé réducteur .....	17
Identification des anthocyanos.....	17
Identification d'amidons.....	17
Identification des terponides.....	17
Composés réducteurs.....	17
IV.5.Extraction des antioxydants.....	17
IV.6.Dosage des antioxydants.....	18
IV.6.1.Dosage des composés phénoliques.....	18
IV.6.2.Dosage des flavonoïdes.....	18
IV.6.3.Dosage des flavonols.....	18
IV.6.4.Dosage des tanins condensés.....	19
IV.7.Activité antioxydant.....	19
IV.7.1Inhibition du radical ABTS° .....	20
IV.7.2.Inhibition du radical DPPH.....	20
IV.8 .Propriétés fonctionnelles .....	20
IV.8.1.Capacité d'absorption d'eau(CAE).....	21
IV .8.2.Capacités d'absorption en l'huile (CAH), (CALE), (CALTE).....	21
IV.8.3.Activité émulsifiant (AE) et stabilité des émulsions (SE).....	21
IV.8.4.Activité moussante (AM) et stabilité moussante (SM).....	22
IV.8.5.Clareté des farines.....	22
IV.8.6.capacité de gonflement.....	22

## SOMMAIRE

IV.9. Analyses sensorielle des farines atamine .....	22
IV.9.1. Présentation des échantillons et déroulement de l'épreuve.....	22
IV.9.2. Réalisation d'un panel de dégustation d'atamine .....	23
IV.9.3. Recueil des résultats .....	23
IV.10. Analyse statistique.....	23

### *V. Résultats et discussion*

V.1. Paramètres physico-chimiques .....	24
V.1.1. pH. ....	24
V.1.2. Humidité.....	
V.2. Caractérisation phytochimique.....	25
V.3. Propriétés fonctionnelles :	
V.3.1. Capacité d'absorption d'eau (CAE).....	25
V.3.2. Capacités d'absorption en l'huile (CAH).....	27
V.3.3. Capacités d'absorption (CALE), (CALTE).....	27
V.3.4. Activité moussante (AM) et stabilité moussante (SM).....	28
V.3.5. Activité émulsifiant (AE) et stabilité des émulsions (SE) .....	28
V.3.6. capacité de gonflement .....	29
V.3.7. Clarté des farines .....	
V.4. Antioxydants .....	29
V.4.1. Polyphénols.....	29
V.4.2. Flavonoïdes.....	31
V.4.3. Flavonols.....	32
V.4.4. Tanins condensés.....	32
<b>V.5. Activité antioxydant</b> .....	33
V.4.5.1. Activité antiradicalaire (DPPH) .....	
V.5.2. Activité antiradicalaire (ABTS°).....	34
V.6. Evaluation sensorielle.....	34
V.6.1. Analyse en composantes principales (ACP) .....	34
V.6.2. Test de préférence.....	
<b>Conclusion</b> .....	39
<b>Références bibliographiques</b> .....	
<b>Annexes</b>	

# *Introduction*

Depuis longtemps, les légumineuses occupent une place importante dans le régime alimentaire humain et animalier, car elles sont une source riche de protéines et de minéraux, sont aussi appelées légumes secs, ce sont des plantes dont le fruit est une gousse. Elles appartiennent à la famille des Fabacées, dans laquelle on retrouve le haricot, le pois chiche, la lentille, l'arachide ou le petit pois. C'est une famille très diversifiée, qui comprend environ 765 genres et 19500 espèces. Les graines de légumineuses constituent une partie essentielle à l'alimentation humaine car elles sont une source de protéines, minéraux, vitamines, fibres alimentaires, d'amidon et des composés bioactifs. De plus, les légumineuses ont un faible indice glycémique (IG), ce qui est associé à un risque réduit de diabète. Ainsi, parmi les légumineuses les plus consommées au monde, la lentille (*Lens culinaris*) qui est classée comme la troisième cultivée dans le monde après l'haricot (*Phaseolus vulgaris*) et les pois chiches (*Pisum sativum*) (Almi, 2016). Les légumineuses présentent de nombreux avantages pour la santé, elles sont une source importante de polyphénols, qui ont des activités antioxydantes élevées (Singha et al. 2017), et des teneurs importantes en flavonoïdes, dont le contenu est environ 10 fois plus élevé que celui des oranges (Guggenbühl, 2006).

Depuis des décennies, les antioxydants naturels ont fait l'objet d'une attention croissante en raison de leur fonctionnalité et surtout leur contribution à la santé humaine. Une tendance a été formée pour l'intérêt des antioxydants naturels dans diverses industries, y compris les industries cosmétiques, pharmaceutiques et alimentaires (Kusumawati and Indrayanto 2013; Tripathi 2014).

Dans ce travail nous avons essayé de donner un aperçu sur les propriétés physico-chimiques, fonctionnelles et anti-oxydantes des farines de lentilles noires et rouges, pois chiches et les petits pois. Ainsi, les objectifs principaux de la présente étude consistent à :

- Evaluer les propriétés physico-chimiques (pH, humidité) des farines de quelques légumineuses ;
- La Caractérisation phytochimique par des tests préliminaires ;
- Détermination de leur contenu en substances bioactives (polyphénols totaux, flavonoïdes, flavonols et tanins condensés) et leurs propriétés antioxydantes ;
- Evaluation de quelques propriétés fonctionnelles (CAE, CAH, CALE, CALTE, AM, SM, AE, SE, CG, CF) ;
- Evaluation de l'effet de la grillade sur les propriétés physico-chimiques, antioxydantes et fonctionnelles des farines étudiées.



*Synthèse*  
*bibliographique*



## **I. Lentilles**

### **I.1. Description botanique**

La lentille est une plante annuelle herbacée diploïde ( $2n = 14$ ) de 20 à 72 cm de haut. Les tiges, nombreuses, sont dressées et très rameuses, ses feuilles sont alternes, composées pennées, comptent de 4 à 7 folioles opposées, oblongues, et sont terminées par une vrille généralement simple ou bifide. À la base elles sont munies de stipules dentées. Les fleurs, à la corolle papilionacée typique de la sous-famille des *Faboideae*, sont de couleur bleue, blanche ou rose et les petites gousses contiennent deux graines (Schneider *et al.* 2015). La floraison estivale intervient entre mai et juillet.

Les fruits sont des gousses aplaties, courtes, contenant deux graines aplaties en forme caractéristique de disque faiblement bombé. La couleur des graines varie selon les variétés des plus pâles (vert pâle, blond, rose) au plus foncé (vert foncé, brun, violacé...). Les cultivars de lentilles ont été divisés en deux groupes, principalement sur la base de la taille des graines : (I) le groupe *macrosperma* prédominant principalement en Afrique du Nord, en Europe et en Amérique (diamètre supérieur à 6 mm), (II) le groupe *microsperma* (diamètre inférieur à 6 mm) domine en Asie, en Egypte, et en Ethiopie. En Asie occidentale et dans le sud-est de l'Europe, on cultive les deux groupes de cultivars (Brink et Belay, 2006).

### **I.2. Classification**

La lentille (*Lens culinaris*) est une espèce annuelle dicotylédone classée d'après Brink et Belay (2006) comme suit :

**Règne :** *Plantae*

**Super division :** *Spermatophyta*

**Classe :** *Magnoliopsida*

**Sous classe :** *Rosidae*

**Ordre :** *Fabales*

**Famille :** *Fabaceae*

**Genre :** *Lens*

**Espèce :** *Lens culinaris* Medik

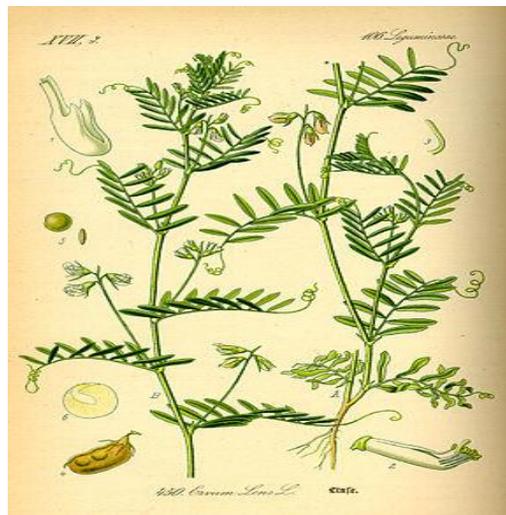
### **I.3. Morphologie**

La description morphologique de la lentille, d'après Yadav *et al.* (2007) est la suivante :

- **Feuilles:** sont alternes, composées pennées de couleur vert jaunâtre, vert jaune clair, vert terne, vert foncé ou vert bleuâtre foncé et les stipules sont petites ou parfois absentes (Figure 1).

- **Fleurs:** sont petites, de couleur blanche, rose, violet, violet pâle, bleu pâle, elles sont portées par de courts pédoncules de 2,5-5,0 cm de long.

- **Graines :** sont biconvexes, rondes, petites, en forme de lentille de l'œil et pèsent entre 2 et 8 g pour 100 graines. La couleur du testa varie du beige au brun noir, violet et noir. Les cotylédons sont rouges, orange, jaunes ou verts.



**Figure 1** : Morphologie de plante lentille.

#### **I.4. Variétés des lentilles**

Selon la FAO (2016), il existe différentes variétés de lentilles qui sont classifiées selon leur couleur (Figure 2)

**a. Lentille du Puy :** cette petite lentille, d'un bleu vert foncé, semblable à une perle, provient de la région Auvergne, dans le centre de la France. Considérée comme la plus savoureuse de toutes les variétés, elle conserve sa forme pendant la cuisson.

**b. Lentille jaune:** même si moins connue que la lentille rouge, la variété jaune vif est semblable en goût et se cuit de la même manière.

**c. Lentille rouge :** Foncé en couleur et en goût, cette lentille cassée de couleur orange foncé, aussi appelée lentille égyptienne ou Masoor Daal est la variété la plus répandue. Bien que la lentille soit assez dure même lorsqu'elle est fraîche, contrairement aux autres légumes secs, elle ne nécessite pas de trempage avant la cuisson.

**d. Lentille verte et brune** : contrairement aux variétés rouges et jaunes, cette lentille commune en forme de disque, connue également sous le nom de lentille continentale bien qu'elle se ramollisse et elle conserve sa forme.

**e. Lentille d'Ombrie** : l'Italie et la cuisine méditerranéenne sont traditionnellement connues pour leurs savoureuses lentilles. Cette lentille italienne brune et dorée est souvent cuisinée avec des oignons, de l'ail et des fines. Les Italiens marquent la nouvelle année en mangeant des lentilles peu après minuit. D'après la tradition, plus vous en consommez, plus vous aurez d'argent. C'est ainsi que le fait de servir un énorme plat de lentilles est signe de richesse et de chance pour toute l'année ! (FAO, 2016).



**Figure 2** : Les différentes variétés de lentilles.

### **I.5.Composition et valeur nutritionnelle**

Les graines de lentilles sont plus riches en protéines (25%), glucides et calories par rapport aux autres légumineuses. Ses graines sont également une bonne source de minéraux essentiels comme le calcium, le phosphore, le fer et vitamine B (Tableau I) (Yadav *et al.* 2007). Les feuilles sèches, les tiges, les enveloppes, les gousses constituent une bonne source d'aliments pour le bétail.

**Tableau I** : Différents composants de lentilles

(Zhou *et al.*, 2013 ; Ndife *et al.*, 2011; Sanjeewa *et al.*, 2010).

<b>Composants</b>	<b>g/ 100g d'échantillon</b>
<b>Lipides</b>	1,06
<b>Protéines</b>	25,8 g
<b>Glucides</b>	60-62
<b>Minéraux</b>	2,67
<b>Fibres alimentaires</b>	30,5

En outre, les résidus de lentilles contiennent environ 10,2% humidité, 1,8% de matières grasses, 4,4% de protéines, 50% de glucides, 21,4% de fibres et 12,2%. Les raines de lentilles sont également utilisées par l'industrie comme source d'amidon commercial pour les industries de textile et d'impression (Yadav *et al.*, 2007).

### **I.6. Antioxydant de lentilles**

Les légumes secs, sont riches en composés phénoliques totaux avec une teneur variable entre 300 mg à 17 g/kg (Macheix, 1996). Certains des polyphénols contenus dans les lentilles, comme la procyanidine et les flavanols, ont des effets antioxydants, anti-inflammatoires. Des chercheurs ont détecté, dans divers échantillons de lentilles, des antioxydants qui appartiennent pour la plupart à la grande famille des flavonoïdes. Ce sont principalement des catéchines et des procyanidines. Ces antioxydants sont surtout situés dans l'enveloppe externe de la lentille.

### **I.7. Facteurs antinutritionnels de lentilles**

En dehors des macronutriments (protéines, glucides, lipides et fibres alimentaires) et des micronutriments (minéraux et vitamines), de nombreux autres composés ont été retrouvés chez les légumes secs. Parmi ces composés, plusieurs ont été depuis longtemps, qualifiés de facteurs antinutritionnels car ils réduisent la biodisponibilité des macro et des micronutriments et exercent des effets délétères lors de fortes prises alimentaires chez les animaux domestiques (Champ, 2002). D'après Tacon (1995), les facteurs antinutritionnels présents chez la lentille sont les inhibiteurs des protéases ; les phytohémagglutinines (lectines) et les saponines, en plus des polyphénols (tanins) (Anonyme, 1994 ; Ganesan et Xu, 2017).

#### **I.7.1. Inhibiteur des protéases**

Les plus néfastes par leurs effets sont les inhibiteurs de protéases qui agissent sur les enzymes protéolytiques pancréatiques au cours de la digestion ; Il s'agit de protéines de poids moléculaire moyen (8000 à 22000 Da) qui inhibent spécifiquement la trypsine et/ou la chymotrypsine.

#### **I.7.2. Phytohémagglutinines (lectines)**

Les effets antinutritionnels ou éventuellement toxiques sont essentiellement dus à leurs capacités de fixation sur les glycoprotéines membranaires au niveau de la muqueuse intestinale, entraînant une réduction des capacités digestives et d'absorption et des troubles gastro-intestinaux (diarrhées, nausées). Certaines lectines manifestent également des effets

cytotoxiques : c'est le cas des lectines du haricot ou des graines de ricin (ricine). Les lectines de pois, de lentilles, de fève sont considérées comme non toxiques et sans effet antinutritionnel sur la croissance.

### **I.7.3. Saponines**

Les saponines sont des métabolites secondaires glycosylés constitués d'une ou de deux chaînes glucidiques hydrophiles attachées à un aglycone triterpénique lipophile. Le mécanisme d'action des saponines pourrait induire une activité hémolytique en impliquant une interaction avec le cholestérol, créant une rupture de la membrane cellulaire et une fuite de l'hémoglobine (Wink, 2013).

### **I.7.4. Polyphénols**

Les polyphénols sont un groupe très diversifié de composés phénoliques plus ou moins polymérisés ou condensés (tanins). Les polyphénols condensés sont constitués de proanthocyanidines polymériques, difficilement hydrolysables et non absorbables. Ils sont abondants dans certaines céréales (sorgho) et les graines de légumineuses (Anonyme, 1994).

## **I.8. Bienfaits de la consommation de lentilles**

Les bienfaits de la consommation des lentilles sur la santé humaine peuvent être résumés dans les points suivants :

-En raison de la forte teneur en acide folique, la lentille est bonne pour le cœur, favorise la santé du système de vaisseaux sanguins et réduit le développement des maladies tumorales. Sa consommation est recommandée pendant la grossesse pour éviter les anomalies de développement du fœtus.

-La lentille renforce le système immunitaire, en conséquence son intégration dans l'alimentation pendant l'hiver aide à échapper aux maladies infectieuses. Riche en protéines et en acide folique, cette légumineuse rend l'organisme plus résistant mais elle est également une source importante en zinc, calcium, magnésium, fer et vitamines A et B<sub>1</sub>.

-La lentille contient de nombreux antioxydants de la famille des flavonoïdes qui peuvent nous aider à combattre le mauvais cholestérol et faire baisser le taux de triglycérides sanguins, mais également à fixer les radicaux libres tout en ralentissant la croissance des cellules cancéreuses dans l'organisme.

-La lentille peut aider au contrôle du diabète de type 2, tout en ralentissant la digestion du glucose des aliments. Parmi les légumineuses, la lentille semble le plus efficace au niveau

de la prévention du diabète de type 2 grâce à son index glycémique bas, qui permet sans trop augmenter le taux de la glycémie après le repas. Elle est également riche en protéines, elle peut remplacer les protéines animales contenues dans les viandes et les poissons ce qui la rend l'un des aliments favoris des végétariens.

## **II. Pois chiches**

### **II.1. Description botanique :**

Le pois chiche est une espèce diploïde, avec  $2n=16$  chromosomes. C'est une plante herbacée annuelle, étalée à érigée atteignant 100 cm de hauteur avec tige simple ou ramifiée dès la base. Les racines sont pivotantes atteignant 1 à 2 cm de profondeur. Le système racinaire porte de grosse nodosité fixatrice d'azote surtout dans la couche supérieure de sol. Les feuilles sont alternes portant un nombre impair de folioles. Les folioles sont sessiles, ovales à elliptique de 5-20 mm x 2-15 mm, à bords fortement dentés dans les deux tiers supérieurs (Figure 3) (Aoufi et Amer, 2010).



**Figure 3 :** Description de la plante de pois chiche.

### **II.2. Classification de pois chiches**

**Règne :** *Plantae*

**Sous-règne :** *Trachiobionta* (plantes vasculaires)

**Embranchement :** *Spermatophyta* (plantes à graines)

**Classe :** *Magnoliopsida* (Ou Dicotylédones)

**Sous Classe :** *Rosidae*

**Ordre :** *Fabales*

**Famille :** *Légumineuses*

**Genre :** *Cicer*

**Espèce :** *Cicer arietinum* L

### **II.3. Morphologie**

• **Racines :** le pois chiche est une espèce rustique par son système racinaire puissant qui se développe dans les deux sens, latéral et pivotant (Figure 5) (Saxena, 1987). Le système

racinaire peut atteindre jusqu'à 2 m de profondeur, mais la majeure partie jusqu'à 60 cm (Duke, 2012).

- **Feuilles** : elles ont la forme imparipennée glanduleuses-pubescentes avec 3-8 paires de folioles. Elles sont ovales à elliptiques de 0,6-2,0 cm de long, 0,3-1,4 cm de large ; le bord est dentelé (Duke, 2012).

- **Tige** : elle est herbacée et devient lignifiée avec l'âge. Comme pour les feuilles, la tige est couverte par des poils uni et pluricellulaires. Selon les génotypes de pois chiche, à une certaine hauteur, la tige se ramifie en deux ou trois branches pour donner des ramifications secondaires et par la suite des ramifications tertiaires (Bouri, 2014).

- **Fleurs** : solitaires, parfois 2-3 par inflorescence, axillaire avec des pédoncules de 0,6-3 cm de long, des pédicelles de 0,5-1,3 cm de long, des bractées triangulaire ou tripartite, jusqu'à 2 mm de long ; un calice de 7 à 10 mm de long ; une corolle blanche, rose, violacée (passant à bleu) ou bleu, de 0,8 à 1,2 cm de long (Duke, 2012).

- **Fruit** : est une gousse de forme globuleuse, renflée, ovale, velue, pendante et portant un bec (Ladizinsky, 1987). Elle peut comporter de 1 à 3 graines qui peuvent être lisses ou ridées, arrondies ou irrégulières de forme ronde forme ronde à forme angulaire (UPOV, 2005).

- **Graines** : de 1,4 à 3,5 cm de long et de 0,8 à 2 cm de large, elles sont gonflées glanduleuses et pubescent. La couleur des graines est variable, crème, jaune, marron, noir ou vert, arrondi à obovoïde angulaire (Duke, 2012).



**Figure 4** : Etape de développement de pois chiches

#### **II.4. Variétés de pois chiches :**

Il existe deux types de pois chiches (Figure 5) :

• **Type Desi** : les graines sont caractérisées par des graines petites, ridées, colorées, noires ou rouges ; ce pois chiche est cultivé principalement en Asie et représente 85% de la production indienne (Malhotra *et al.* 1987).

• **Type Kabuli** : les graines sont assez grosses, jusqu'à deux fois la taille des pois, et ont moins de rides que le type Desi. Ce type est cultivé principalement dans le bassin méditerranéen (Singh *et al.* 1987).



**Figure 5** : Variétés de pois chiches

## II.5. Composition et valeur nutritionnelle

Le pois chiche, comme toutes les légumineuses, est un aliment naturellement riche en protéines végétales, en plusieurs vitamines et minéraux et en fibres alimentaires (Tableau II). De plus, il est faible en matières grasses, et comme tous les aliments végétaux, il ne contient pas de cholestérol. Le type Desi contient 51 à 65% de glucides, et le type de Kabuli contient 54 à 71% (Mahiout, 2017).

**Tableau II** : Différents composants de pois chiches

(Zhou *et al.*, 2013 ; Ndife *et al.*, 2011; Sanjeeva *et al.*, 2010).

Composants	g/ 100 g
Minéraux	2,48-3
Lipides	6-7,6
Glucides	60-64
Protéines	19,27
Fibres	17,4-22

## II.6. Antioxydant de pois chiche

Les antioxydants protègent contre le stress oxydatif et ceux-ci sont également trouvés dans le pois chiche en abondance. Bien que le pois chiche ne fournit que de petites quantités d'antioxydants bien connus tels que la vitamine C, la vitamine E et le bêta-carotène. Cependant, il contient à la place des composés phytochimiques à fort potentiel antioxydant. Ceux-ci comprennent les flavonoïdes (quercétine, kaempférol et myricétine) ainsi que divers

acides phénoliques. Ils fournissent un soutien important pour protéger le corps contre les attaques radicalaires et réactives.

• **Polyphénols** : Ce sont des métabolites secondaires caractérisés par la présence d'un cycle aromatique portant des groupements hydroxyles libres ou engagés avec un glucide. Ils sont présents dans tous les végétaux et sont impliqués dans de nombreux processus physiologiques. Les plus représentés sont les flavonoïdes et les tannins (Boizot et Charpentier, 2006).

• **Flavonoïdes** : Ce sont des métabolites secondaires possédant une structure avec deux cycles aromatiques liés par trois atomes de carbone. Ils se retrouvent dans les fruits, les légumes, les céréales...etc. La propriété la mieux décrite des flavonoïdes est leur capacité à agir comme antioxydants et protéger l'organisme contre les espèces réactives de l'oxygène (Nijveldt *et al.* 2001).

• **Tanins** : Ce sont des molécules hautement polymérisé et peuvent former des complexes insolubles avec des glucides et des protéines.

## **II.7. Facteurs antinutritionnels de pois chiches**

Les facteurs considérés comme ayant des effets antinutritionnels incluent en fait le mécanisme de défense des plantes contre les ennemis naturels (insectes, parasites) (Rio, 2017). Le Pois chiche (*Cicer arietinum*) contient des anti-nutriments qui le protègent théoriquement des insectes carnivores comme les fosses de *Sitophilus* (Mouhouche, 2003).

## **II.8. Bienfaits de la consommation de pois chiches**

La consommation des pois chiches a plusieurs bienfaits :

- **Aide à perdre du poids** : le pois chiche est idéal pour la gestion du poids. ...
- **Préviens les maladies cardiaques** : le pois chiches contribue également à prévenir les maladies cardiaques, grâce au magnésium et au potassium.
- **Contrôle du diabète** : les pois chiches aident également à contrôler le sucre dans le sang, car ils sont un aliment à faible indice glycémique.
- Trois vertus intéressantes du pois chiche pour les femmes : source de fer/minéraux, diminue les risques de cancer du sein, et permet de réduire les risques d'une malformation du tube neural chez le fœtus pour les femmes enceintes.
- **Bon pour la santé des os** : le pois chiche contient des minéraux comme le phosphore, le calcium, ainsi que de la vitamine K, qui est important pour la structure osseuse

### **III. Petit pois**

#### **III.1. Description botanique**

Le petit pois (*Pisum sativum* L.) est une plante diploïde ( $2n=14$  chromosome), appartient à la famille des légumineuses (*Fabacées*) (Krajinski *et al.* 2011), autogame (Deulvot *et al.* 2010), annuelle, parfois cultivée comme une bisannuelle. Sa croissance est indéterminée suivant les variétés, c'est-à-dire que le nombre de nœuds de la tige n'est pas fixé génétiquement mais reste sous la dépendance de facteurs externes (Prioul *et al.* 2004).

#### **III.2. Classification**

Le petit pois, *Pisum sativum* appartient à la classe des dicotylédones, à la famille des légumineuses (*Fabacées*) et la sous famille des papilionacées (Fondevilla *et al.* 2011).

Le plan taxonomique de petit pois se rattache au :

**Règne :** *Végétal*

**Embranchement :** *Spermaphytes*

**Sous embranchement :** *Angiospermes*

**Classe :** *Dicotylédones*

**Sous-classe :** *Dialypitale*

**Ordre :** *Fabales*

**Famille :** *Fabacée*

**Sous-famille :** *Papilionacées*

**Genre :** *Pisum*

**Espèce :** *Pisum sativum* L.

#### **III.3. Morphologie**

- **Tige :** elle est peu ramifiée, de longueur variant de 50 cm à 1,5 m, voire jusqu'à deux mètres, est à croissance indéterminée. Elle est creuse, de section cylindrique, et grimpe en s'accrochant aux supports par les vrilles des feuilles (Figure 7). Elle se caractérise par un certain nombre de nœuds, ou mailles, dont les premiers sont purement végétatifs (émettant des feuilles ou des ramifications) et les suivants reproducteurs (portant des fleurs). (Carrouée et Girad, 1994).

- **Feuilles :** elles sont alternées, composées d'une à quatre paires de folioles sessiles, opposées et terminées par une vrille simple ou ramifiée. Celles-ci sont entières, ovales, et ont de 1,5 à 6 cm de longueur. Les feuilles possèdent à leur base deux grandes stipules embarrassantes, arrondies et crénelées à la base (Coussin, 1996).

- **Fleurs** : Fleurs, de type « papilionacé », sont zygomorphes, à ovaire supère et cléistogames. Elles apparaissent à l'aisselle des feuilles, solitaires ou groupées en racème par deux ou trois. Le calice, de couleur verte, est formé de cinq sépales soudés et présentes cinq dents inégales. La corolle compte cinq pétales très différenciés, l'étendard redressé en position postérieure, les deux ailes en position latérale, enveloppant la carène, elle-même formée de deux pétales inférieurs, partiellement soudés. La corolle est généralement entièrement, parfois rose, pourpre ou violette. L'androcée qui comprend dix étamines (Muahlbaur et Tubba, 1997).

- **Fruit** : c'est une gousse déhiscente bivalve, appelée aussi cosse, de 4 à 15 cm de long, contenant de 2 à 10 graines rondes lisses ou anguleuses, de 5 à 8 mm de diamètre. Ces gousses présentent des variations morphologiques selon les variétés, leur forme générale est droite ou plus ou moins arquée, leur extrémité plus ou moins effilée ou tronquée. Elles comportent généralement une membrane sclérifiée, le parchemin, qui est absente chez les variétés de type « mangetout ». Leur couleur est généralement verte, parfois violette (Prat et al. 2005).

- **Graine** : elle est albuminée, riche en amidon (Hopquin, 1994). Les graines de pois peuvent être de trois couleurs différentes : les variétés à fleurs blanches produisent des graines vertes ou jaunes crème, alors que les variétés à fleurs roses ou rouges produisent des graines tachetées de brun. Dans le premier cas, le tégument de la graine est translucide, tandis que dans le second cas, le tégument coloré masque la couleur des cotylédons et contient toujours des tanins.



**Figure 6** : Morphologie de petits pois.

#### **III.4. Variétés de petits pois**

Les espèces de petit pois sont divisées en trois groupes principaux :

- **Petits pois lisses** : il est plus résistant au froid (Messiaen, 2010), présente une semence bien ronde. Il produit un grain fin dont la teneur en amidon est élevée (42 à 49 %).

Ce qui lui confère une saveur légèrement farineuse ; sa richesse en amidon permet une reprise en eau au cours de la stérilisation, et par conséquent un bon rendement industriel (Moreno, 2009).

• **Petits pois ridés** : produit des grains de plus gros calibre présentant des flétrissements à l'état sec. Sa teneur en amidon est plus faible que celle du petit pois lisse (20 à 35 %) et, sa nature différente. Ce qui lui donne une texture moins farineuse et un goût plus sucré. La plus forte proportion d'amylose du pois ridé accroît par ailleurs la capacité de rétention d'eau, d'où un démarrage de la déshydratation retardée par rapport au pois lisse qui explique une plus grande souplesse à la récolte (Loridon *et al.* 2005).

• **Pois Mange-tout** : des pois que l'on récolte plus jeune et que l'on mange avec la cosse (Messiaen, 2010).

Ces trois variétés peuvent aussi être des variétés « naines » ou « à rames » :

- **Pois naines** : les plantes ne dépassent pas 50 cm de hauteur.
- **Pois à rames** : les plantes peuvent atteindre 2 m 50 et nécessitent plus d'espace (Messiaen, 2010).

### **III.5. Composition et valeur nutritionnelle**

De par son appartenance à la famille des légumineuses, le pois peut être consommé à l'état frais ou encore sous forme de grains secs récoltés à maturité complète. La richesse du petit pois en protéines (20 à 25%) permet de remplacer certaines protéines animales dans l'alimentation (Senaoui 2001). C'est une plante riche en fibres et glucides dont le saccharose, qui lui donne son goût sucré, renferme aussi des vitamines (A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C, E, PP) et des sels minéraux (Gueguen, 2008). Le Tableau III, montre la composition de la graine du pois.

**Tableau III** : Composition physico-chimique du petit pois (Vierling, 2008).

<b>Composition</b>	<b>Poids (%)</b>
<b>Protéine</b>	22,5
<b>Matière grasse</b>	1,8
<b>Glucide</b>	56,6
<b>Cellulose</b>	5,5
<b>Eau</b>	11
<b>Nombre de calorie pour 100g</b>	246

### **III.6. Antioxydants du petit pois**

Les antioxydants sont des composés qui protègent les cellules du corps des dommages causés par les radicaux libres. Ces derniers sont des molécules très réactives qui seraient impliquées dans le développement des maladies cardiovasculaires, de certains cancers et d'autres maladies liées au vieillissement. Le petit pois est un aliment très complet,

riche en fibres, contiennent de grandes quantités d'un polyphénol des flavonoïdes, des caroténoïdes et tanins condensés.

### **III.7. Facteurs antinutritionnels de petit pois**

Les facteurs antinutritionnels dans les pois comprennent des inhibiteurs de trypsine, des hémagglutinines (lectines), des tannins, des oligosaccharides et phytates. Les cultivars à tégument de couleur foncée contiennent plus de tanins, ce qui diminue leur digestibilité (Brink et Belay, 2006).

### **III.8. Bienfaits de la consommation de petits pois**

La consommation de petits pois a plusieurs effets bénéfiques suivants :

- Protège le cœur et les vaisseaux ;
- Préviend le cancer et équilibre la glycémie ;
- Soulage l'arthrite et l'ostéoporose ;
- Réduit le mauvais cholestérol ;
- Favorise la santé des yeux et de la peau ;
- Renforce le système immunitaire ;
- Améliore la digestion et prévient la constipation ;
- Fluidifie le sang et favorise la cicatrisation ;
- Aide à perdre du poids et augmente la satiété ;
- Contribue au bon développement du fœtus.

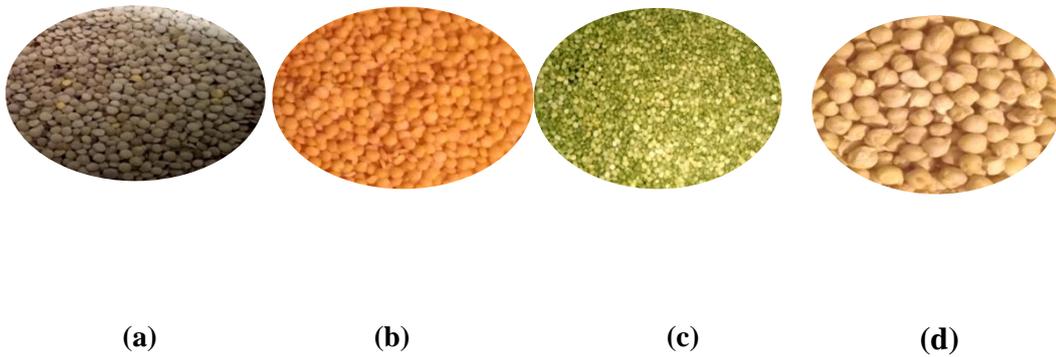
*Partie*  
*Expérimentale*

*Matériel*  
*et*  
*Méthodes*

### **IV.1. Matériel biologique**

La présente étude est portée sur quelques légumineuses largement consommées par la population Algérienne : lentilles noirs, lentilles rouges, petits pois et pois chiche (Figure 8). Les échantillons de légumineuses (environ 2 kg chaque échantillon) ont été achetés le mois d'Avril 2022 chez un commerçant de vente de produits alimentaires en gros situé dans la wilaya de Bejaia.

Notre expérimentation a été réalisée au niveau du laboratoire pédagogique de génie des procédés, Département de Génie des Procédés de la Faculté de Technologie à l'Université Abderrahmane Mira de Bejaia.

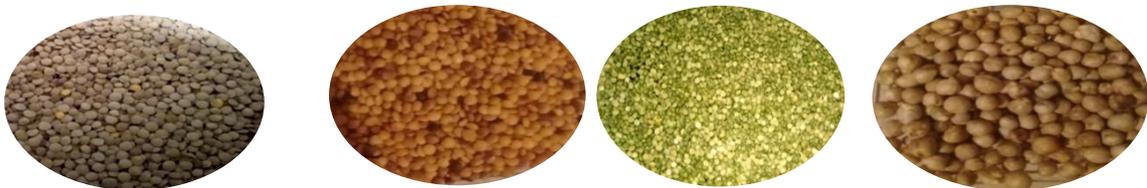


**Figure 7 :** Photographie des échantillons de légumineuses secs.

*(a) : Lentilles Noires, (b): Lentilles Rouges, (c) Petits pois, (d) Pois chiches.*

### **IV.2. Traitement des échantillons**

Chaque échantillon de légumineuse est divisé en deux lots mesurant environ 1 Kg, le premier lot est gardé à son état frais alors que le deuxième lot est grillé à 200°C sur une plaque pendant 30 min (Figure 9). Les deux lots (frais et grillé) subissent un broyage à l'aide d'un broyeur suivie d'un tamisage afin de récupérer les farines qui sont conservées dans des flacons en verre à l'abri de la lumière et de l'humidité.



**Figure** (a) otographie des écha (b) is de légumineet (c) rès torréfaction. (d)

(a) : Lentilles Noires grillées, (b): Lentilles Rouges grillées, (c) Petits pois grillés,  
(d) Pois chiches grillés.

L'objectif principal de la présente étude est la détermination de quelques propriétés physico-chimiques (pH, humidité) des farines de légumineuses étudiées. En outre, une évaluation de la teneur en antioxydants (polyphénols, flavonoïdes, flavonols et tanins condensés) et l'activité antioxydante par deux méthodes : inhibition du radical DPPH et ABTS. En plus de ses paramètres analysés, une étude phytochimique est réalisée pour déterminer la présence de certains composés chimiques qui ont des activités biologiques intéressantes à savoir les anthocyanes, les terpénoïdes, les composés réducteurs, les glucosides, les saponosides, l'amidon et les irridoides. Enfin, une évaluation des propriétés fonctionnelles à savoir (CAE, CAH, CALE, CALTE, AM, SM, AE, SE, CG et clarté des farines) des farines a été réalisé. De plus, une évaluation sensorielle a été réalisée dans le but de déterminer la farine additionnée d'huile d'olive nommée « Atemine » le plus préféré.

### **IV.3. Détermination des paramètres physico-chimiques**

#### **IV.3.1. pH**

Le pH est déterminé à l'aide d'un pH mètre selon la méthode (AFNOR, 1982). Une prise d'essai de 10 g est ajustée avec l'eau distillée à un volume de 25 ml, l'ensemble a subi une agitation pendant 30 min suivi d'une filtration. Le filtrat récupéré permet de mesurer les valeurs du pH à l'aide d'un pH mètre.

#### **IV.3.2. Teneur en eau (humidité)**

La détermination du taux d'humidité des légumineuses ont été réalisée selon la méthode de Lakoet *al.* (2007). Elle consiste à une dessiccation d'une prise d'essai (1g) dans une étuve portée à une température de  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  pendant 24 H, la teneur en eau est calculée selon la formule suivante:

$$\mathbf{H\ (\%) = [(M_1 - M_2)/P] \times 100}$$

Où :

**H (%)** : Humidité en pourcentage.

**M<sub>1</sub>** : Masse de la capsule plus la masse de la matière fraîche.

**M<sub>2</sub>** : Masse de la capsule plus la masse de la matière sèche.

**P** : Masse de la prise d'essai (g).

#### **IV.4. Tests préliminaires**

Des tests phytochimiques sont réalisés sur la poudre des légumineuses afin de déterminer de manière préliminaire la nature des différents métabolites secondaires qu'elles contiennent. Il s'agit d'une analyse qualitative basée sur des réactions de coloration et/ou de précipitation. Après 15 minutes les résultats ont été classés comme suit : (+++) : Précipité abondant, (++) : Précipité présent et (-) : Précipité absent.

- **Identification des irridoides**

Pour la recherche des irridoides, on ajoute quelques gouttes d'acide chlorhydrique à 2 mL d'infusé, et on chauffe le mélange sur une plaque chauffante. Une coloration bleu est obtenue en leur présence.

- **Détection des saponosides**

Diluer 100 mg de la poudre végétale dans 40 mL d'eau distillée. Agiter la suspension pendant 15 min. Une couche, de 2 cm, de mousse indique la présence de saponosides.

- **Composés réducteurs**

Introduire 1 mL d'extrait dans un tube à essai, ajouter 2 mL de liqueur de Fehling (1 mL réactif A et 1 mL réactif B), incubé l'ensemble pendant 8 min dans un bain marie bouillants. L'apparition d'un précipité rouge brique indique la présence des composés réducteurs.

- **Identification des anthocyanos**

Ajouter quelques gouttes d'HCl à 5 mL d'infusé. La réaction donne une coloration rouge en présence d'anthocyanes.

- **Identification d'amidons**

A 2g de poudre végétale, ajouter quelques gouttes de la solution d'iode (I2). On observe l'apparition d'une coloration bleue violette lorsque la réaction est positive.

- **Identification des terpenoïdes**

Un volume de 5 ml d'extrait est ajouté à 2ml de chloroforme et 3 ml d'acide sulfurique concentré. La formation de deux phases et une couleur marron à l'interphase indique la présence des terpenoïdes.

#### **IV.5.Extraction des antioxydants**

L'extraction des antioxydants a été réalisée selon la méthode de Benmeziane-Derradji *et al.* (2018) avec quelques modifications. L'extraction est faite par macération de

10 g d'échantillons dans 200 mL d'éthanol 80% pendant 40 min, suivie d'une filtration afin de récupérer les extraits éthanoliques conservés à froid jusqu'au moment de l'utilisation.

#### **IV.6. Dosage des antioxydants**

##### **IV.6.1. Dosage des composés phénoliques**

Le dosage des composés phénoliques a été effectué suivant la méthode décrite par **Mojab *et al.* (2008)** avec quelques modifications. Brièvement, 0,2 mL sont mélangés à 1 mL du réactif Folin-Ciocalteu (dilué au 1/10) et incubé à température ambiante. Après 10 min, 0,8 ml de solution de carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) (75 g/L) sont ajoutés. La solution finale est bien mélangée et gardée à l'obscurité pendant 2 heures à température ambiante. L'absorbance est lue à 765 nm et la teneur en composés phénoliques est exprimée en milligramme Equivalent Acide Gallique par 100 g de Matière sèche (mg EAG/100 g MS) on se référant à la courbe d'étalonnage obtenue avec l'acide gallique (Annexe I).

##### **IV.6.2. Dosage des flavonoïdes**

La teneur en flavonoïdes est déterminée selon la méthode de **Djeridane *et al.* (2006)**. 1 mL d'extrait est additionné à 1 mL de chlorure d'aluminium ( $\text{AlCl}_3$ ) à 2%. Après 15 min, l'absorbance est mesurée à 420 nm. Les résultats sont exprimés en milligramme Equivalent Quercétine par 100 g d'Echantillon (mg EQ/100 g d'Ech) en se référant à la courbe d'étalonnage (Annexe I).

##### **IV.6.3. Dosage des flavonols**

La teneur en flavonols est déterminée selon la méthode de **Djeridane *et al.* (2006)**. A 500  $\mu\text{L}$  d'extrait sont ajoutés 500  $\mu\text{L}$  d'eau distillée, 500  $\mu\text{L}$  de chlorure d'aluminium (2%) et 500  $\mu\text{L}$  d'acétate de sodium (50g/L). Après 30 min d'incubation, l'absorbance est mesurée à 440 nm. Les concentrations en flavonols ont été exprimées en milligramme Equivalent Quercétine par 100g de matière sèche (mg EQ/100g MS) et déterminées en se référant à la courbe d'étalonnage de la Quercétine (Annexe I).

##### **IV.6.4. Dosage des tanins condensés (proanthocyanidines)**

La teneur en pro anthocyanidines des extraits est déterminée selon la méthode décrite par **Vermerris and Nicholson (2008)**. Un volume de 2 ml de sulfate de fer est ajouté à 200  $\mu\text{L}$  d'extrait. Les tubes sont incubés à 95°C pendant 15 min. L'absorbance est mesurée à 530 nm. Les résultats obtenus sont exprimés en mg Equivalent Cyanidine par 100 g de matière sèche (mg EC/100 g MS), sont calculés selon la formule suivante :

$$C \text{ (mg EC/100 g)} = \text{Abs. MM. FD. 1000} / \epsilon. L$$

D'où :

**Abs** : Absorbance à 530 nm

**MM** : Masse molaire de la cyanidine (287,24 g/mol)

**FD** : Facteur de dilution

**L** : Trajet optique

$\epsilon$  : Coefficient d'extinction molaire de la cyanidine ( $\epsilon=34\ 700 \text{ L. mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ).

## **IV.7. Activité antioxydante**

### **IV.7.1. Inhibition du radical ABTS°**

Le pourcentage d'inhibition du radical ABTS a été évalué par la méthode de Re *et al.* (1998), qui consiste à additionner 2 mL de la solution d'ABTS ( $\text{Abs}_{734\text{nm}} = 0,960 \pm 0,08$ ) à 20  $\mu\text{L}$  de l'extrait. La lecture de l'absorbance est mesurée, à partir de la première minute pendant 6 minutes, à 734 nm. Le pouvoir anti-radicalaire de l'extrait est exprimé en pourcentage d'inhibition.

$$\text{Activité antiradicalaire (\%)} = [(\text{Abs}_{\text{Contrôle}} - \text{Abs}_{\text{Echantillon}}) / \text{Abs}_{\text{Contrôle}}] \times 100$$

Où

**Abs** <sub>Contrôle</sub> : Absorbance du contrôle à 734 nm

**Abs** <sub>Echantillon</sub> : Absorbance de l'échantillon à 734 nm.

### **IV.7.2. Inhibition du radical DPPH°**

L'activité anti radicalaire des extraits est déterminée par une méthode basée sur la réduction du radical diphénylpicryl-hydrazyl (DPPH°), par donner d'atomes d'hydrogènes ou d'électrons (Molyneux, 2004). Le protocole utilisé dans cette méthode est celui de Milardovié *et al.* (2006). Il consiste à mélanger 2,9 ml de la solution DPPH° ( $6 \times 10^{-5}$ ) avec 100  $\mu\text{L}$  de chaque extrait ; la mesure de la réaction de réduction de la solution du DPPH° a été faite à 515 nm après 30 min d'incubation. Les résultats sont exprimés par la moyenne de trois mesures. Le pourcentage de neutralisation du radical de DPPH° est calculé selon la formule ci-dessous :

$$\text{Activité antiradicalaire (\%)} = [(\text{Abs}_{\text{Contrôle}} - \text{Abs}_{\text{Echantillon}}) / \text{Abs}_{\text{Contrôle}}] \times 100$$

Où

**Abs** <sub>Contrôle</sub> : Absorbance du contrôle à 515 nm

**Abs Echantillon :** Absorbance de l'échantillon à 515 nm

## **IV.8. Propriétés fonctionnelle**

### **IV.8.1. Capacités d'absorption d'eau (CAE)**

La CAE est estimée d'après la méthode de Diomande *et al.* (2017). Une quantité de farine de gland est pesée et introduite dans un tube à centrifugeuse. Les tubes contenant la poudre ont été pesés et les masses sont notées ( $m_e$ ). Ensuite, un volume d'eau distillée a été ajouté dans chaque tube et le tout a été agité pendant 30 minutes. Enfin, la centrifugation a été faite pendant 35 minutes à 4000 tr /m grâce à une centrifugeuse. Le surnageant de chaque tube est versé et les nouvelles masses sont notées ( $m_e'$ ). La capacité d'absorption d'eau de l'échantillon est déterminée selon la formule suivante :

$$CAE = (m_e' - m_e) \times 100 / PE$$

Avec :

$m_e$  : Masse du tube contenant la farine avant centrifugation ;

$m_e'$  : Nouvelle masse du tube contenant la poudre après centrifugation ;

PE : Prise d'essai (g).

### **IV.8.2. Capacité d'absorption en huile (CAH), en lait entier (CALE) et en lait totalement écrémé (CALTE) des échantillons de farine**

Le même protocole que celui de la mesure de la CAE a été suivi, sauf que l'eau a été remplacée par l'huile, le lait entier et le lait totalement écrémé pour la mesure des capacités CAH, CALE et CALTE, respectivement. Les capacités d'absorptions sont alors déterminées selon la formule :

$$CAH = CALE = CALTE = (m_e'' - m_e) \times 100/P$$

Où :

$m_e$ : Masse du tube contenant la farine avant centrifugation.

$m_e'$ : Nouvelle masse du tube contenant la farine après centrifugation et étuvage.

$P$ : Poids de la prise d'essai.

### **IV.8.3. Activité émulsifiante (AE) et stabilité des émulsions (SE)**

Une quantité de farine de gland est pesée et introduite dans un tube à centrifugeuse. Les tubes contenant la poudre sont pesés et les masses sont notées. Ensuite, ont été ajoutés successivement dans chaque tube avec le même volume d'huile et d'eau distillée. Après centrifugation pendant 30 minutes, les différents tubes ont été agités. Enfin, la centrifugation a été faite pendant 35 minutes à 4000 rpm. Les tubes ont été retirées et les hauteurs (hauteur

totale et hauteur d'eau) ont été mesurées et notées. L'activité émulsifiante est calculée selon la formule suivante :

$$AE = (He / Ht) \times 100 / PE$$

Avec

**He** : Hauteur de l'eau

**Ht** : Hauteur totale

Pour la détermination de la stabilité des émulsions, les tubes ont été placés dans un bain-marie bouillant à 100°C pendant 30 minutes. Au terme de cette période, les tubes sont retirés et les nouvelles hauteurs de l'eau ont été notées (He') (Diomandeet *al.*, 2017).

La stabilité est calculée selon la formule suivante :

$$SE = (He' / Ht) \times 100 / PE$$

Avec

He : Hauteur de l'eau

He' : nouvelle hauteur de l'eau

#### **IV.8.4. Activité moussante (AM) et stabilité moussante (SM)**

L'AM et la SM ont été déterminés selon la méthode décrite par Li *et al.* (2018). Une solution aqueuse de chaque farine a été préparée et agitée à l'aide d'un mélangeur à haute vitesse à température ambiante. L'échantillon résultant a été transféré dans une éprouvette graduée. Le volume du mélange a été enregistré après le fouettage. L'échantillon a été placé pendant 30 minutes (repos) et son volume a été enregistré à nouveau. L'AM et la SM ont été calculés en utilisant les formules suivantes :

$$AM\% = ((V2 - V1) / V1) * 100$$

$$SM\% = (V3 / V2) * 100$$

Où :

**V1** : Volume de la solution d'échantillon initiale

**V2** : Volume du mélange 0 min après le fouettage

**V3** : Volume du mélange laissé pendant 30 min après le fouettage.

#### **IV.8.5. Clarté des farines (CF)**

La clarté des farines a été mesurée selon la méthode de Craig *et al.* (1989) In Traore (2016). Une masse d'échantillon a été dissoute dans dans un volume d'eau distillée contenu dans un tube de centrifugation. Le mélange a été homogénéisé par l'utilisation d'un vortex puis chauffé dans une eau bouillante (100°C) pendant 30 min. Au cours du chauffage, le mélange a été homogénéisé à chaque 5 min. Après ce traitement thermique, le mélange a été

refroidi sur la paille pendant 10 min. La clarté des gels des échantillons a été déterminée par la mesure de la transmittance (%T) à 650 nm au spectrophotomètre contre un témoin contenant de l'eau distillée.

#### **IV.8.6. Capacité de gonflement (CG)**

La méthode décrite par Robertson *et al.* (2000) a été utilisée pour la mesure de la CG. Brièvement, une quantité de chaque échantillon de farines sont hydratés et mélangés à un volume connu d'eau distillée dans une éprouvette graduée. Après 18 h d'incubation, le volume final (V) est mesuré. La CG est défini par le rapport du volume (mL) occupé par la farine de lentilles gonflée sur le poids sec initial de celle-ci :

$$\text{CG (ml/g)} = \text{V} / \text{P}$$

#### **IV.9. Analyses sensorielles des farines (Atamine)**

L'évaluation sensorielle est une science multidisciplinaire essentielle dans toutes études alimentaires et s'applique dans divers domaines comme l'amélioration des produits, le contrôle de la qualité, l'entreposage et le développement des processus. Elle est considérée comme une approche indispensable à l'évaluation de la qualité d'un produit alimentaire. Elle fait appel à des dégustateurs en faisant intervenir les organes des sens qui sont regroupés en cinq modalités : la vue, l'odorat, le goût, le toucher et l'ouïe pour mesurer les caractéristiques sensorielles et l'acceptabilité des produits alimentaires.

##### **IV.9.1. Présentation des échantillons et déroulement de l'épreuve**

Les huit formulations d'Atamine différentes ont été préparées en ajoutant l'huile d'olive et un peu de sel aux différentes farines non torréfiées et torréfiées. Une quantité de chaque échantillon d'Atamine est mise dans un gobelet où les numéros des échantillons sont mentionnés (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) puis ils sont présentés pour les dégustateurs. En outre, deux autres gobelets sont présentés dont l'un est rempli d'eau de rinçage et l'autre est réservé pour cracher. À chaque dégustation en passant d'un gobelet à un autre on doit rincer la bouche. La dégustation des différents échantillons d'Atamine est faite sans figues sèches et avec les figues sèches.

##### **IV.9.2. Réalisation d'un panel de dégustation d'Atamine**

Le groupe de panelistes est constitué de 129 personnes entre enseignants et étudiants de l'université dont la tranche d'âge est entre 19 et 26 ans et 8 experts entraînés. Les

dégustateurs sont appelés à évaluer les échantillons d'Atamine préparés par rapport à leur aspect, couleur, texture, odeur, couleur et consistance. Chaque paramètre testé est évalué par une notedans un questionnaire d'analyse sensorielle (Figure 10).



**Figure 9** : Photographie du post d'évaluation sensorielle.

#### **IV.9.3. Recueil des résultats**

Le recueil des résultats est effectué sur une fiche ou questionnaire remplie par chaque dégustateur.

#### **IV.10. Analyse statistique**

Une analyse descriptive des résultats a été réalisée à l'aide du logiciel Microsoft Office Excel 2010 afin de déterminer les moyennes, les écarts types et les pourcentages. Toutes les données représentent la moyenne de trois essais. Pour la comparaison des résultats obtenus, l'analyse de la variance, ANOVA (STATISTICA 5.5) est utilisée et le degré de signification de données est pris à la probabilité  $p < 0,05$ .

L'étude statistique des résultats d'analyse sensorielle (ACP) a été réalisée à l'aide du logiciel XL-Stat 2010 afin de déterminer la ou les farines (s) préférée (s) par les dégustateurs.

*Résultats*  
*et*  
*Discussion*

## V.1. Paramètres physico-chimiques

### V.1.1. pH

Le pH est un paramètre déterminant l'aptitude des aliments à être conservés, le milieu acide de l'ordre de 3 à 6 est très favorable au développement des levures et moisissures. Le pH des différents échantillons varie significativement ( $p < 0,05$ ) entre les différents échantillons analysés et il oscille entre  $6,57 \pm 0,01$  (FPCNG) à  $6,99 \pm 0,02$  (FLRG). A l'exception de la farine de lentilles noires, le pH a augmenté significativement dans les autres échantillons de farines après traitement thermique (Tableau IV). Des résultats séminaires ont été notés par Lim et Kim (2018) où ils ont remarqué une augmentation de pH des graines kobiloba après un traitement torréfaction à  $150^{\circ}\text{C}$  pendant 30min. Cette augmentation peut être attribuée à une meilleure extraction des acides organiques après traitement thermique ce qui a induit une légère diminution du pH.

### V.1.2. L'humidité

Le test d'humidité permet de connaître la teneur en eau de des farines non grillées et grillées pour assurer la bonne conservation de long durée dans un endroit sec. D'après le Tableau IV, le taux d'humidité a significativement diminuée ( $p < 0,05$ ) après la grillade dans tous les échantillons. Cette diminution est due au traitement thermique qui provoque l'évaporation de l'eau.

**Tableau IV** : Paramètres physico-chimiques des farines de légumineuses étudiées.

Farines/Paramètre	pH	Humidité
<b>FLRNG</b>	$6,90 \pm 0,02^b$	$3,00 \pm 0,00^c$
<b>FLRG</b>	$6,99 \pm 0,02^a$	$2,33 \pm 0,58^e$
<b>FLNNG</b>	$6,97 \pm 0,01^a$	$3,67 \pm 0,58^b$
<b>FLNG</b>	$6,98 \pm 0,01^a$	$2,67 \pm 0,58^d$
<b>FPPNG</b>	$6,88 \pm 0,01^b$	$5,00 \pm 1,73^a$
<b>FPPG</b>	$6,96 \pm 0,01^a$	$2,33 \pm 0,58^e$
<b>FPCNG</b>	$6,57 \pm 0,01^d$	$3,00 \pm 1,00^c$
<b>FPCG</b>	$6,67 \pm 0,01^c$	$2,33 \pm 0,58^e$

Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0,05$ ). Les résultats sont classés par ordre décroissant;  $a > b > c > d > e$ . **FLRNG**: Farine de Lentilles Rouges Non Grillées; **FLRG**: Farine de Lentilles Rouges Grillées; **FLNNG**: Farine de Lentilles Noires Non Grillées; **FLNG**: Farine de Lentilles Noires Grillées, **FPPNG**: Farine de Petits Pois Non grillées, **FPPG**: Farine de Petits Pois Grillées; **FPCNG**: Farine de Pois Chiches Non Grillées; **FPCG**: Farine de Pois Chiches Grillées.

La faible teneur en eau indique la stabilité la plus élevée des échantillons grillés contre la détérioration microbienne car l'humidité est un facteur qui provoque le développement et la multiplication des micro-organismes puisque, ils ont besoin d'une teneur en eau assez élevé pour se proliférer. Les mêmes résultats ont été trouvés par Ladjal Ettoumi et Chibane (2015). En outre, Benmeziane-Derradji *et al.* (2020) ont noté que sur la grillade des lentilles à 150°C pendant 30 min provoquent une diminution du taux d'humidité.

## V.2. Caractérisation phytochimique

Les résultats de caractérisation phytochimique des extraits de farines non grillées et grillées indiquent la présence d'amidon et terpénoïdes. Cependant, une absence des irridioïdes, des saponosides, des composés réducteurs et des anthocyanes a été observé dans tous les échantillons (Tableau V). Des résultats similaires ont été trouvés par Kumaran et Citarasu (2015) et Benmeziane-Derradji *et al.* (2020) les lentilles torrifiées et non torrifiées.

**Tableau :** Caractérisation phytochimique des extraits de farines de légumineuses étudiées.

Farines/Composés	Amidon	Terpénoïdes	Irridoïdes	Saponosides	Composés réducteurs	Anthocyane
<b>FLRNG</b>	+++	+	-	-	-	-
<b>FLRG</b>	++	+	-	-	-	-
<b>FLNNG</b>	++	+	-	-	-	-
<b>FLNG</b>	++	+	-	-	-	-
<b>FPPNG</b>	+++	+	-	-	-	-
<b>FPPG</b>	++	+	-	-	-	-
<b>FPCNG</b>	+++	+	-	-	-	-
<b>FPCG</b>	++	+	-	-	-	-

(-) : Absence ; (++) : Présence ; (+++) : Abondance

**FLRNG:** Farine de Lentilles Rouges Non Grillées; **FLRG:** Farine de Lentilles Rouge Grillées; **FLNNG:** Farine de Lentilles Noires Non Grillées; **FLNG:** Farine de Lentilles Noires Grillées, **FPPNG:** Farine de Petits Pois Non grillées, **FPPG:** Farine de Petits Pois Grillées; **FPCNG:** Farine de Pois Chiches Non Grillées; **FPCG:** Farine de Pois Chiches Grillées.

## V.3. Propriétés fonctionnelles

### V.3.1. Capacité d'absorption d'eau (CAE)

La capacité d'absorption d'eau (CAE) des farines joue un rôle important dans le processus de préparation des aliments car elle influence certaines propriétés fonctionnelles et elle détermine la qualité sensorielle, en particulier, la texture des produits alimentaires. En outre, l'utilisation des farines comme ingrédients alimentaires dépend, dans une large mesure, de leur interaction avec l'eau.

## V. Résultats et discussion

**Tableau VI : Propriétés fonctionnelles des farines de légumineuses étudiées.**

Farine/Propriété	CAE	CAH	CALE	CALTE	AM	SM	AE	SE	CG	CF
<b>FLRNG</b>	155,00 ± 1,00 <sup>c</sup>	139,67 ± 2,08 <sup>c</sup>	96,5 ± 0,71 <sup>f</sup>	107,00 ± 1,41 <sup>e</sup>	12,5 ± 0,71 <sup>a</sup>	92,89 ± 1,21 <sup>b</sup>	29,57 ± 1,41 <sup>d</sup>	119,09 ± 1,29 <sup>a</sup>	24,73 ± 0,04 <sup>b</sup>	0,287 ± 0,001 <sup>d</sup>
<b>FLRG</b>	158,00 ± 2,00 <sup>c</sup>	112,33 ± 1,15 <sup>f</sup>	100,5 ± 0,71 <sup>e</sup>	133,50 ± 0,71 <sup>b</sup>	7,5 ± 0,71 <sup>b</sup>	100,00 ± 1,32 <sup>a</sup>	43,65 ± 1,40 <sup>a</sup>	112,92 ± 1,29 <sup>c</sup>	24,48 ± 0,04 <sup>c</sup>	0,327 ± 0,001 <sup>b</sup>
<b>FLNNG</b>	154,33 ± 0,58 <sup>c</sup>	165,00 ± 1,00 <sup>a</sup>	90,5 ± 0,71 <sup>g</sup>	112,00 ± 0,00 <sup>d</sup>	13,5 ± 0,71 <sup>a</sup>	93,83 ± 0,04 <sup>b</sup>	36,37 ± 0,66 <sup>b</sup>	114,29 ± 0,00 <sup>b</sup>	24,98 ± 0,04 <sup>a</sup>	0,304 ± 0,001 <sup>c</sup>
<b>FLNG</b>	155,67 ± 0,58 <sup>c</sup>	110,33 ± 0,58 <sup>f</sup>	136,5 ± 0,71 <sup>b</sup>	114,00 ± 0,00 <sup>d</sup>	6,5 ± 0,71 <sup>c</sup>	101,89 ± 0,01 <sup>a</sup>	42,81 ± 2,31	106,07 ± 0,63 <sup>d</sup>	24,23 ± 0,04 <sup>a</sup>	0,337 ± 0,001 <sup>a</sup>
<b>FPPNG</b>	163,00 ± 1,00 <sup>b</sup>	161,00 ± 1,73 <sup>b</sup>	102,0 ± 0,00 <sup>e</sup>	75,50 ± 0,71 <sup>f</sup>	12,5 ± 0,71 <sup>a</sup>	93,78 ± 0,04 <sup>b</sup>	37,30 ± 1,33 <sup>b</sup>	116,03 ± 0,91 <sup>b</sup>	24,73 ± 0,04 <sup>b</sup>	0,158 ± 0,00 <sup>f</sup>
<b>FPPG</b>	186,00 ± 1,00 <sup>a</sup>	130,33 ± 0,58 <sup>e</sup>	111,00 ± 0,00 <sup>c</sup>	113,50 ± 0,71 <sup>d</sup>	8,5 ± 0,71 <sup>b</sup>	101,84 ± 0,01 <sup>a</sup>	42,81 ± 2,31 <sup>a</sup>	106,7 ± 0,63 <sup>a</sup>	24,58 ± 0,04 <sup>a</sup>	0,260 ± 0,001 <sup>e</sup>
<b>FPCNG</b>	151,33 ± 0,58 <sup>d</sup>	167,00 ± 1,00 <sup>a</sup>	109,0 ± 0,00 <sup>d</sup>	118,50 ± 0,71 <sup>c</sup>	13,5 ± 0,71 <sup>a</sup>	94,72 ± 1,21 <sup>b</sup>	33,33 ± 1,17 <sup>c</sup>	114,84 ± 0,77 <sup>b</sup>	24,68 ± 0,04 <sup>b</sup>	0,103 ± 0,000 <sup>h</sup>
<b>FPCG</b>	162,33 ± 0,58 <sup>b</sup>	134,33 ± 1,15 <sup>d</sup>	146,5 ± 0,71 <sup>a</sup>	152,50 ± 0,71 <sup>a</sup>	9,5 ± 0,71 <sup>b</sup>	100,91 ± 0,01 <sup>a</sup>	44,28 ± 0,23 <sup>a</sup>	112,92 ± 0,59 <sup>b</sup>	24,48 ± 0,04 <sup>c</sup>	0,128 ± 0,000 <sup>g</sup>

*Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0,05$ ). Les résultats sont classés par ordre décroissant;  $a > b > c > d > e$ . **FLRNG**: Farine de Lentilles Rouges Non Grillées; **FLRG**: Farine de Lentilles Rouge Grillées; **FLNNG**: Farine de Lentilles Noires Non Grillées; **FLNG**: Farine de Lentilles Noires Grillées, **FPPNG**: Farine de Petits Pois Non grillées, **FPPG**: Farine de Petits Pois Grillées; **FPCNG**: Farine de Pois Chiches Non Grillées; **FPCG**: Farine de Pois Chiches Grillées. **CAE**: Capacité d'Absorption d'Eau; **CAH**: Capacité d'Absorption d'Huile; **CALTE**: Capacité D'Absorption du Lait Totalemment Ecrémé; **CALE**: Capacité d'Absorption de Lait Entier; **AM**: Activité Moussante ; **SM**: Satbilité Moussante; **CG**: Capacité de Gonflement **CF**: Clarté des Farines.*

La CAE des farines varie significativement ( $p < 0,05$ ), la FPCG a présenté la CAE 1 plus élevée par rapport aux autres farines analysées avec un taux de 186,00 % (Tableau VI). La CAE est due à la présence des constituants hygroscopiques possédant des groupements hydrophiles dans les farines qui sont essentiellement des protéines ayant des groupements hydrophiles  $:-CO, -NH-$ . En outre, la torréfaction a augmenté significativement la CAE dans tous les échantillons avec une exception pour les FLNG dont on n'a enregistré aucun effet. Ces résultats sont confirmés par Benmeziane-Derradji *et al.* (2020).

### **V.3.2. Capacité d'absorption d'huile (CAH)**

La CAH est la capacité de la farine à absorber l'huile, ce qui est important car l'huile agit comme un arôme retenu et améliore la sensation dans la bouche (David *et al.* 2015). La CAH des farines étudiées présente des différences significatives ( $p < 0,05$ ) avec un taux plus élevé noté dans les FPCNG et FLNNG (Tableau VI).

En effet, la CAH des farines diminue après le grillage, c'est le contraire du cas de la CAE et ceci est dû à la présence de substances ayant des chaînes non-polaires dans les farines. Des résultats identiques ont été notés par Benmeziane-Derradji *et al.* (2020) qui ont expliqué ce phénomène par la variation de la présence de chaînes latérales non polaires, qui se lient à la chaîne latérale hydrocarbonée de l'huile rajoutée.

### **V.3.3. Capacité d'absorption de lait entier et totalement écrémé CALE et CALTE**

La CALE et CALTE est la capacité de la farine à absorber du lait entier et du lait totalement écrémé. La CALE et CALTE des farines varient significativement à  $p < 0,05$ . En outre, la torréfaction a augmenté la CALE et la CALTE dans toutes les farines de légumineuses étudiées (Tableau VI). Les résultats obtenus montrent que ces farines de légumineuses (non grillées et grillées) peuvent être utilisées dans les préparations alimentaires telles que les aliments pour bébé et les yaourts, mais il est préférable d'utiliser les farines grillées car elles présentent les meilleures CALE et CALTE que les farines non grillées.

### **V.3.4. Activité moussante (AM) et stabilité moussante (SM)**

Par définition, une mousse est une dispersion homogène de bulles de gaz dans une phase continue aqueuse et grasse (Schorsch 2007). Les protéines stabilisent les mousses de la même manière que les émulsions (Farooq et Boye, 2011). Les propriétés moussantes sont en général mesurées par l'augmentation du volume initial suite à l'incorporation de l'air (activité moussante). Les résultats enregistrés montrent qu'il y a des différences significatives

( $p < 0,05$ ) de l'AM et la SM entre les différentes farines analysées (Tableau VI). En effet, les mousses produites par les farines non grillées ont plus élevées par rapport aux farines grillées ; par contre les SM les plus importantes sont observés dans les échantillons de farines grillées comparativement aux échantillons non grillés. L'augmentation de la capacité moussante pourrait être attribuée à l'augmentation des protéines solubles (El-Adawy *et al.* 2003). Dans le cas du moussage, les protéines migrent vers l'interface air-eau, se réalignent et s'agrègent comme dans les émulsions, formant un film interracial autour des bulles d'air, emprisonnant les bulles de gaz, ce qui aide à empêcher la mousse de s'effondrer immédiatement après la formation et, parfois, pendant le stockage (Khazaei *et al.* 2019). Ainsi, le grillage a diminué le pouvoir moussant des farines, en dénaturant éventuellement les protéines.

### **V.3.5. Activité émulsifiante (AE) et stabilité de l'émulsion (SE)**

Les propriétés émulsifiantes des farines sont attribuées, en grande partie, aux protéines (Farooq et Boye, 2011). Les propriétés émulsifiantes sont généralement décrites par deux indices. Le premier est la capacité ou l'activité émulsifiante, qui reflète l'aptitude de la protéine à former des émulsions. Le second est la stabilité émulsifiante qui reflète la résistance de l'émulsion formée au stress (Liu *et al.* 2008). L'AE et SE varient significativement entre les échantillons de farines de légumineuses étudiées (non grillées et grillées) (Tableau VI). De plus, une augmentation significative ( $p < 0,05$ ) de l'AE a été noté après torréfaction tandis que le pourcentage de la SE a significativement diminué ( $p < 0,05$ ), ceci permet de conclure que ces farines peuvent être utilisées dans les produits où la formation d'une émulsion est nécessaire tels que les vinaigrettes. En effet, la formation et la stabilité de l'émulsion sont très importantes dans la fabrication de vinaigrette (Yu *et al.* 2007).

### **V.3.6. Capacité de gonflement (CG)**

Le pouvoir de gonflement renseigne sur l'extensibilité de la pâte, permet d'apprécier l'aptitude de la pâte à retenir du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) (Sakr & Hajj Moussa, 2007). La capacité de gonflement des farines varie significativement ( $p < 0,05$ ) entre les échantillons de farines de légumineuses étudiées et elle a augmenté légèrement après torréfaction dans les échantillons de FLR, FPP et FPC (Tableau VI). Selon Balagopaln *et al.* (2010), l'augmentation des capacités de gonflement des différentes farines est due au relâchement des liaisons à l'intérieur des granules en raison de l'augmentation de la température ce qui fait

que les granules assimilent l'eau et gonflent. Ces résultats concordent avec ceux de Benmeziane-Derradji *et al.* (2020).

### **V.3.7. Clarté des farines**

La clarté d'une pâte est une fonctionnalité beaucoup souhaitée d'une farine utilisée comme épaississant dans l'aliment en industries alimentaires puisqu'elle influence directement l'éclat et l'opacité de l'aliment (Mweta *et al.* 2008). D'après les résultats obtenus (Tableau VI), on remarque qu'après torréfaction, la clarté des farines a significativement augmenté ( $p < 0,05$ ). Selon Ghasemzadeh et Ahmadzadeh Ghavidel (2011), cette augmentation est due à la dispersion facile d'amidon à faible teneur en amylose qui influence l'augmentation de la transmittance et de clarté. Le même principe a été trouvé par Benmeziane-Derradji *et al.* (2020), qui ont noté une augmentation de la clarté de la farine des lentilles noires après grillade de  $1,24 \pm 0,04\%$  à  $7,59 \pm 1\%$ .

## **V.4. Antioxydants**

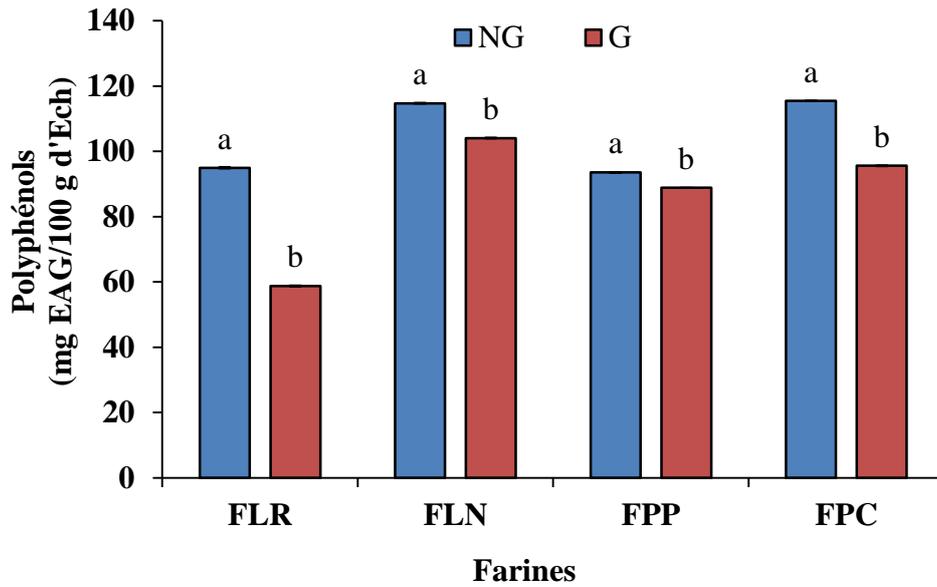
### **V.4.1. Polyphénols totaux (PPT)**

Les légumineuses possèdent des niveaux élevés d'antioxydants naturels (Fernandez-Orozco *et al.* 2003). La Figure 11 montre que la teneur en polyphénols varie significativement ( $p < 0,05$ ) entre les échantillons non torréfiés et torréfiés. Selon la teneur en composés phénoliques les échantillons de farines peuvent être classés par ordre décroissant suivant FLNNG > FPCNG > FLRNG > FPPNG. La variation enregistrée dans la teneur en composés phénoliques diffère selon l'origine géographique de l'échantillon, saison de sa récolte et la variété (Li *et al.* 2019).

En outre, les résultats obtenus ont montré que la teneur en PPT des farines a diminué significativement ( $p < 0,05$ ) après la torréfaction. Des résultats similaires ont été trouvés par Benmeziane-Derradji *et al.* (2020). D'après Yuan *et al.* (2019), la diminution notée après torréfaction peut être due à la libération des certains molécules phénoliques par lyse des parois cellulaires et leurs dégradation thermique.

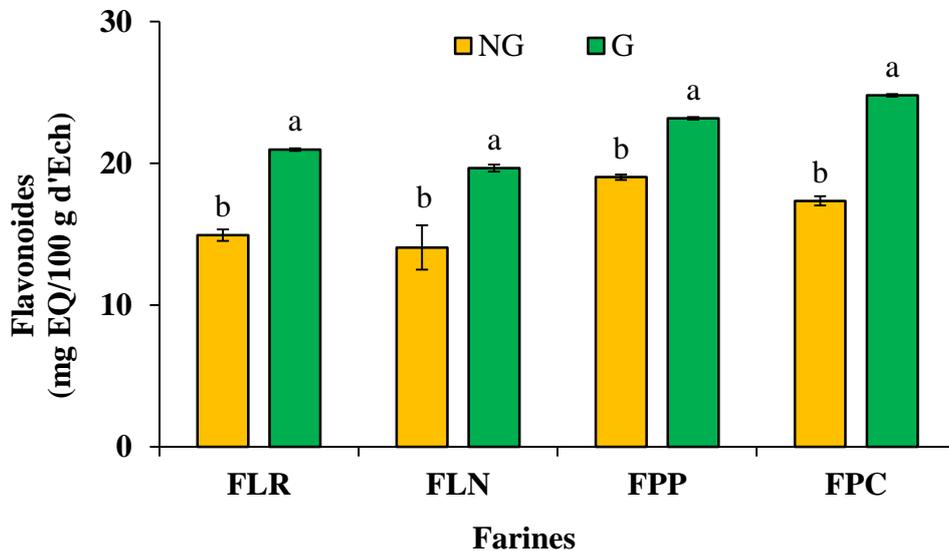
### **V.4.2. Flavonoïdes totaux (FT)**

La Figure 12 montre les teneurs en flavonoïdes des farines non grillées et grillées présentent des différences significatives à  $p < 0,05$ . La FPCNG est la plus riche en flavonoïdes, suivie par la FPPNG, puis la FLRNG et finalement le FLNNG.



**Figure 10 :** Teneurs en polyphénols des extraits de farines de légumineuses étudiées.

Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0,05$ ). Les résultats sont classés par ordre décroissant ;  $a > b$ . **FLRNG**: Farine de Lentilles Rouges Non Grillées; **FLRG**: Farine de Lentilles Rouge Grillées; **FLNNG**: Farine de Lentilles Noires Non Grillées; **FLNG**: Farine de Lentilles Noires Grillées, **FPPNG**: Farine de Petits Pois Non grillées, **FPPG**: Farine de Petits Pois Grillées; **FPCNG**: Farine de Pois Chiches Non Grillées; **FPCG**: Farine de Pois Chiches Grillées.



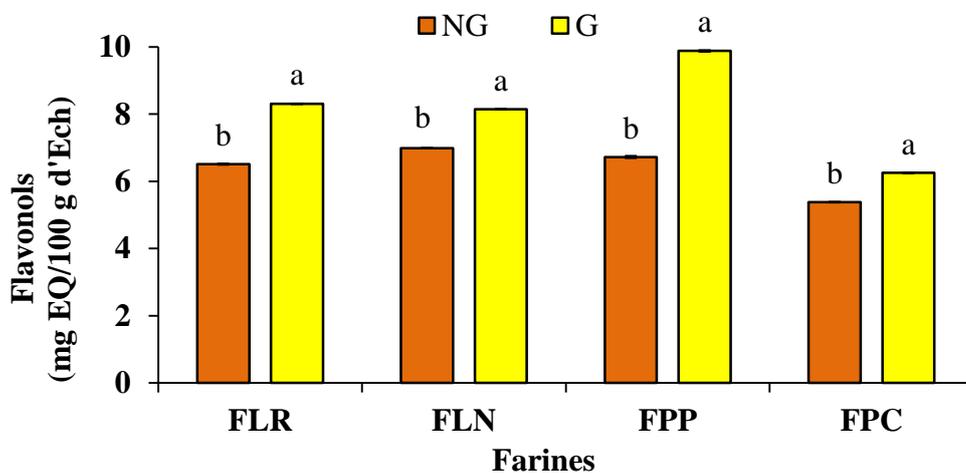
**Figure 11 :** Teneurs en flavonoïdes des extraits de farines de légumineuses étudiées.

Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0,05$ ). Les résultats sont classés par ordre décroissant ;  $a > b$ . **FLRNG**: Farine de Lentilles Rouges Non Grillées; **FLRG**: Farine de Lentilles Rouge Grillées; **FLNNG**: Farine de Lentilles Noires Non Grillées; **FLNG**: Farine de Lentilles Noires Grillées, **FPPNG**: Farine de Petits Pois Non grillées, **FPPG**: Farine de Petits Pois Grillées; **FPCNG**: Farine de Pois Chiches Non Grillées; **FPCG**: Farine de Pois Chiches Grillées.

Les teneurs en flavonoïdes enregistrées pour la farine de lentilles sont remarquablement inférieures à ceux obtenu par Zou *et al.* (2011) avec un taux de  $30,0 \pm 0,7$  mgEC/g. En outre, la torréfaction a provoqué une augmentation significative du taux de flavonoïdes des farines étudiées. Cette augmentation est due à la formation de monomères flavonoïdes à partir de la dégradation des anthocyanes, ce qui compenserait les monomères perdus lors de la torréfaction. Le même principe a été prouvé par Benmeziane *et al.* (2020) dans leur étude portée sur l'effet de grillage sur la teneur en flavonoïdes des lentilles noires.

#### V.4.3. Flavonols

Les résultats obtenus montrent des différences significatives ( $p < 0,05$ ) dans la teneur en flavonols des farines analysées (Figure 13). Selon le taux de flavonols, les échantillons de farines sont classés comme suit  $FPP > FLR = FLN > FPC$ . Cette variation peut s'expliquer par la décomposition des flavonols lors du séchage et/ou à des différences variétales. En outre, le traitement thermique a provoqué une augmentation significative des teneurs en flavonols des farines analysées cela indique que le traitement thermique libère ces composés liés conduisant à l'augmentation de leur taux. Xu et Chang (2009) ont expliqué ce phénomène par une meilleure détectabilité des flavonols dans les échantillons grillés due à leur libération après le traitement thermique.



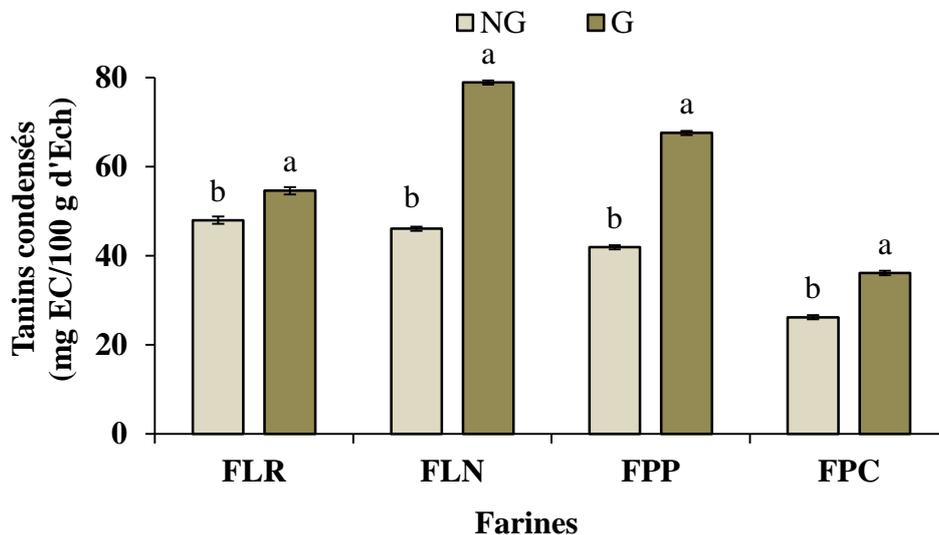
**Figure 12 :** Teneurs en flavonols des extraits de farines de légumineuses étudiées.

Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0,05$ ). Les résultats sont classés par ordre décroissant ;  $a > b$ . **FLRNG**: Farine de Lentilles Rouges Non Grillées; **FLRG**: Farine de Lentilles Rouge Grillées; **FLNNG**: Farine de Lentilles Noires Non Grillées; **FLNG**: Farine de Lentilles Noires Grillées, **FPPNG**: Farine de Petits Pois Non grillées, **FPPG**: Farine de Petits Pois Grillées; **FPCNG**: Farine de Pois Chiches Non Grillées; **FPCG**: Farine de Pois Chiches Grillées.

#### V.4.4. Tanins condensés

Les teneurs en tanins condensés des différentes farines analysées sont indiquées dans la Figure 14. Les résultats montrent des différences significatives à  $p < 0,05$  entre les différents échantillons de farines et la FLN est plus riche en tanins condensés comparativement aux autres farines (FPP, FLR et FPC).

La torréfaction a augmenté significativement la teneur en tanins condensés dans les farines grillées. D'après Suazo *et al.* (2014), l'augmentation des teneurs des tanins condensés est due à la réaction non enzymatique de l'hydrolyse des anthocyanes en anthocyanidines et la polymérisation ultérieure avec des catéchines simples pour former des tanins complexes. Ces résultats sont en accord avec les résultats trouvés par Benmeziane-Derradji *et al.* (2020).



**Figure 13 :** Teneurs en tanins condensés des extraits de farines de légumineuses étudiées.

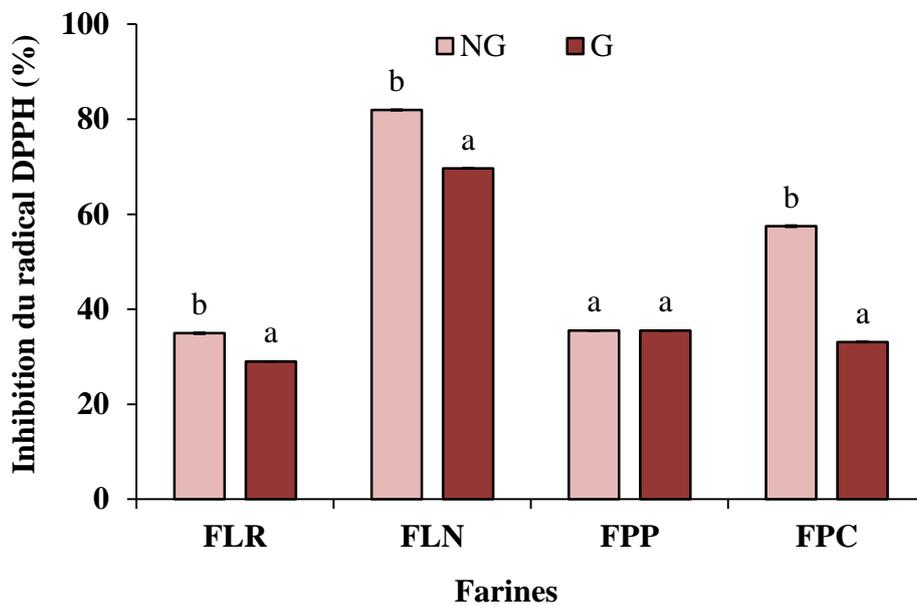
Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0,05$ ). Les résultats sont classés par ordre décroissant ;  $a > b$ . **FLRNG**: Farine de Lentilles Rouges Non Grillées; **FLRG**: Farine de Lentilles Rouge Grillées; **FLNNG**: Farine de Lentilles Noires Non Grillées; **FLNG**: Farine de Lentilles Noires Grillées, **FPPNG**: Farine de Petits Pois Non grillées, **FPPG**: Farine de Petits Pois Grillées; **FPCNG**: Farine de Pois Chiches Non Grillées; **FPCG**: Farine de Pois Chiches Grillées.

#### V.5. Activité antioxydant

##### V.5.1. Inhibition du radical DPPH

Le DPPH° est un radical organique relativement stable qui a été largement utilisé dans la détermination de l'activité antioxydant des différents extraits de plantes (Sharififar, Pournourmohammadi *et al.* 2009). Les antioxydants interagissent avec le DPPH en lui transférant un électron ou un atome d'hydrogène ce qui entraîne sa neutralisation, par conséquent la couleur change de pourpre vers le jaune (Kubola and Siriamornpun 2008).

La Figure 15 montre que le pourcentage d'inhibition du radical DPPH° des extraits des éthanoïques des différents échantillons de farines non grillées et grillées varient significativement à  $p < 0,05$ . De plus, le grillage a diminué significativement ( $p < 0,05$ ) l'activité anti radicalaire qui est probablement attribuée à la diminution de la teneur en composés phénoliques après traitement thermique. Des résultats similaires ont été notés par Faller et Fialho (2009), Arkoub-Djermoune *et al.* (2016) qui ont enregistré une diminution de l'activité anti radicalaire de quelques légumes après la grillade, suite à une dégradation des composés antioxydants par la chaleur.



**Figure 14 :** Activité anti radicalaire des extraits de farines de légumineuses étudiées.

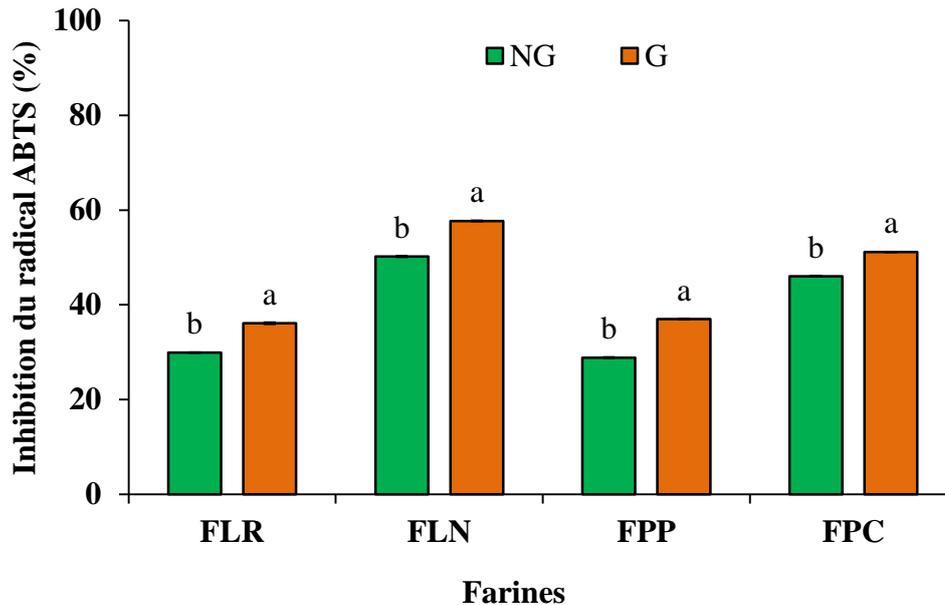
Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0,05$ ). Les résultats sont classés par ordre décroissant;  $a > b$ . **FLRNG:** Farine de Lentilles Rouges Non Grillées; **FLRG:** Farine de Lentilles Rouge Grillées; **FLNNG:** Farine de Lentilles Noires Non Grillées; **FLNG:** Farine de Lentilles Noires Grillées, **FPPNG:** Farine de Petits Pois Non grillées, **FPPG:** Farine de Petits Pois Grillées; **FPCNG:** Farine de Pois Chiches Non Grillées; **FPCG:** Farine de Pois Chiches Grillées.

### V.5.2. Inhibition du radical ABTS

Le pourcentage d'inhibition du radical cationique ABTS•+ est utilisé pour évaluer la capacité antioxydant des aliments, il réagit avec la pluparts des antioxydants, notamment les phénols.

La Figure16 montre une variation significative de l'activité anti radicalire ( $p < 0,05$ ) entre les échantillons de farines non grillées et grillées. L'extrait de FLN a donné l'activité anti radicalaire la plus élevée comparativement aux autres farines.

D'après ces résultats, nous constatons que la grillade a provoqué une augmentation de l'activité anti radicalaire ABTS dans tous les échantillons de farines analysées. Des résultats similaires ont été notés par Arkoub-Djermoune *et al.* (2016). Cette augmentation est probablement attribuée à une bonne extraction des antioxydants dans les échantillons grillés et/ou à l'augmentation de la teneur en certaines substances bioactives tels que flavonoides, flavonols et tanins condensés dans les échantillons torréfiés.



**Figure 15 :** Inhibition du radical ABTS des extraits de farines de légumineuses étudiées.

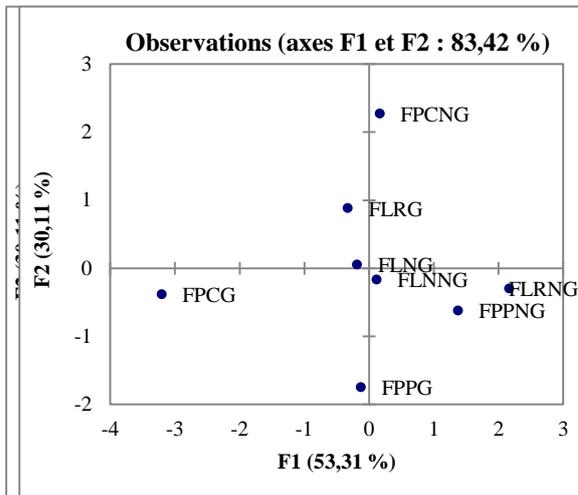
Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0,05$ ). Les résultats sont classés par ordre décroissant;  $a > b$ . **FLRNG**: Farine de Lentilles Rouges Non Grillées; **FLRG**: Farine de Lentilles Rouge Grillées; **FLNNG**: Farine de Lentilles Noires Non Grillées; **FLNG**: Farine de Lentilles Noires Grillées, **FPPNG**: Farine de Petits Pois Non grillées, **FPPG**: Farine de Petits Pois Grillées; **FPCNG**: Farine de Pois Chiches Non Grillées; **FPCG**: Farine de Pois Chiches Grillées.

## V.6. Evaluation sensorielle

### V.6.1. Analyse en composantes principales (ACP)

L'ACP est l'une des méthodes d'analyse de données multi variées auxquels les observations (les produits) sont décrites par un ou plusieurs variables (les attributs sensorielles). Cette méthode consiste à transformer et réduire le nombre de variables corrélées en nouvelles variables non corrélées les unes des autres. Ces nouvelles variables sont nommées « composantes principales », qui peuvent être visualisées graphiquement, avec la conservation d'un maximum d'information. La Figure 17 représente les corrélations

entre les variables et les facteurs par l'ACP. La corrélation est assez bonne, puisqu'elle permet de représenter 83,42 % de la variabilité et permet de constater que les produits ont été perçus par les experts comme assez différents étant donné que la Figure 17 montre que tous les descripteurs sont présentés dans le cercle.



**Figure 16 :** Corrélations entre les variables et les facteurs.

L'ACP normalisée a été réalisée afin de pouvoir mettre en évidence les descripteurs responsables de la plus grande partie de la variabilité observée. Les deux premières dimensions (F1 et F2) de l'ACP représentent 83,42 % de la variance totale (Figure 17). A l'exception des descripteurs couleur, odeur et texture sont bien corrélés avec la première dimension F1 de l'ACP, tandis que consistance représente 53,31 % de la variance totale. En outre, les descripteurs consistance et couleur sont corrélés positivement avec le premier axe. Alors que la texture et l'odeur sont négativement. Les descripteurs texture et odeur présentent la plus grande variabilité entre les différentes farines.

Le descripteur consistance est bien corrélés positivement à la 2<sup>ème</sup> dimension de l'ACP, tandis que la couleur et l'odeur et texture sont corrélés négativement avec la 2<sup>ème</sup> dimension ce qui explique 30, 11 % de la variance totale.

### V.6.2. Test de préférence

La courbe de niveau et carte des préférences PREFMAP illustrée dans la Figure 18 montre que les farines élaborées FLRG, FLRNG, FPPG, FPPNG, FLNG, FLNNG, FPCG, FPCNG sont appréciées avec un taux variant de 0% à 100% par les experts et des consommateurs naïfs. Les farines les plus préférées sont la FLNG et FPCG avec un taux de 100% suivie par FPPG (78%) et les FLRG, FLNNG avec un même taux de 33% et enfin la FPCNG avec un taux de 22%. Cependant, pour les FLRNG et FPPNG le taux de satisfaction pour les FLRNG et FPPNG est nul confirme que ces deux farines ne sont appréciées par les dégustateurs (Figure 18 et Tableau VII).

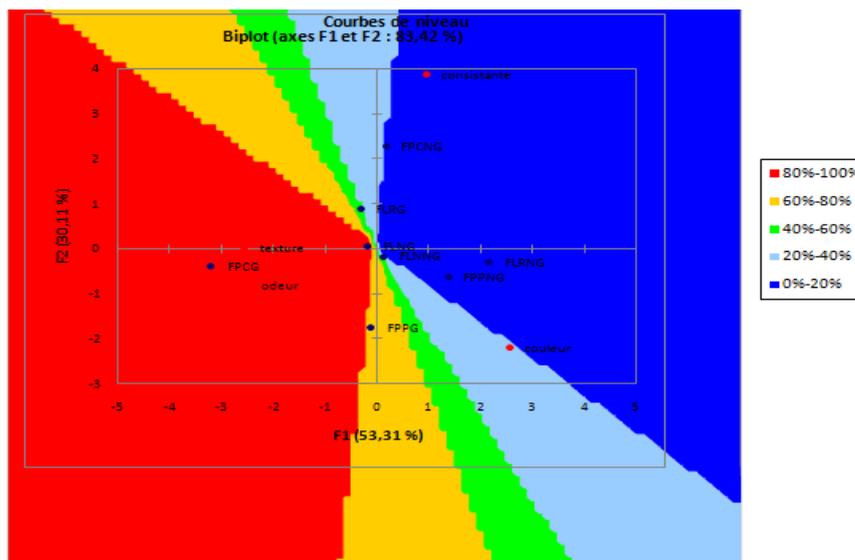


Figure 17 : Courbe de niveau et carte de préférence

Tableau VII : Pourcentage de juges satisfaites pour chaque produit

Farine	Pourcentage (%)
<b>FLRG</b>	33%
<b>FLRNG</b>	0%
<b>FPPG</b>	78%
<b>FPPNG</b>	0%
<b>FLNG</b>	100%
<b>FLNNG</b>	33%
<b>FPCG</b>	100%
<b>FPCNG</b>	22%

*FLRNG: Farine de Lentilles Rouges Non Grillées; FLRG: Farine de Lentilles Rouge Grillées; FLNNG: Farine de Lentilles Noires Non Grillées; FLNG: Farine de Lentilles Noires Grillées, FPPNG: Farine de Petits Pois Non grillées, FPPG: Farine de Petits Pois Grillées; FPCNG: Farine de Pois Chiches Non Grillées; FPCG: Farine de Pois Chiches Grillées.*

# *Conclusion*

La présente étude nous a permis de déterminer l'effet de la torréfaction sur les paramètres physico-chimiques (pH, humidité), propriétés fonctionnelles (CAE, CAH, CALE, CALTE, AM, SM, AE, SE, CG, CF), son contenu en certaines molécules bioactives (polyphénols totaux, flavonoïdes, flavonols, tanins condensé) et l'activité antioxydant des farines de légumineuses (FLN, FLR, FPP et FPC).

Les résultats obtenus montrent que les légumineuses contiennent des quantités très variables de composés phénoliques possédant une bonne activité antioxydant. La FPC et FLN contiennent les taux les plus élevés en composés phénoliques et une meilleure activité antioxydant plus importante par rapport à la FLR et FPP. En outre, la grillade a un effet très variable sur les propriétés physico-chimiques, teneur en antioxydants et l'activité antioxydant des farines de légumineuses étudiées. En outre, les farines analysées présentent des propriétés fonctionnelles très importantes suscitant un intérêt de leurs incorporation dans certaines matrices alimentaires riches en eau et/ou huile tels que les yaourts, les vinaigrettes, les mayonnaises.....etc.

Pour l'analyse sensorielle les résultats montrent que les farines les plus préférées sont la FLNG et FPCG avec un taux de 100% suivie par FPPG (78%).

Afin de compléter ce travail il serait souhaitable :

- Elargir l'échantillonnage afin d'appuyer mieux nos résultats ;
- Elargir l'étude de l'effet de la torréfaction sur la qualité nutritionnelle des farine analysées ;
- Utiliser des techniques plus performantes (HPLC et l'UPLC) afin de déterminer l'effet de la torréfaction sur les substances bioactives des farines étudiées ;
- Faire d'autres recherches plus approfondies dans le but d'innover et standardiser un nouveau produit et le mettre sur le marché à base de ses farines fonctionnelles.

*Références  
Bibliographiques*

Abdi, T., & Direm, H. (2019). *Etude comparative du séchage par microonde et à l'étuve des petits pois de Jijel* (Doctoral dissertation, Université de Jijel).

AFNOR, (1982). "Recueil de normes françaises des produits dérivés des fruits et légumes jus de fruits." AFNOR **325**.

Almi, H. (2016). Etude des myco-pathogènes de *Lens culinaris* et évaluation de l'effet de deux souches de *Trichoderma harzianum*.

Arkoub-Djermoune, L., Bellili, S., Khenouche, L., Benmeziane, F., Madani, K., & Boulekbache-Makhlouf, L. (2019). Effect of domestic cooking on physicochemical parameters, phytochemicals and antioxidant properties of Algerian tomato (*Solanum Lycopersicum* L. Var. Marmande). *Journal of Food Technology Research*, 6(1), 1-17.

Arkoub-Djermoune, L., Boulekbache-Makhlouf, L., Zeghichi-Hamri, S., Bellili, S., Boukhalfa, F., & Madani, K. (2016). Influence of the thermal processing on the physicochemical properties and the antioxidant activity of a solanaceae vegetable: eggplant. *Journal of Food Quality*, 39(3), 181-191.

Balagopalan, L., Coussens, N. P., Sherman, E., Samelson, L. E., & Sommers, C. L. (2010). The LAT story: a tale of cooperativity, coordination, and choreography. *Cold Spring Harbor perspectives in biology*, 2(8), a005512.

Benmeziane, F., Raigar, R. K., Ayat, N. E. H., Aoufi, D., Djermoune-Arkoub, L., & Chala, A. (2021). Lentil (*Lens culinaris*) flour addition to yogurt: Impact on physicochemical, microbiological and sensory attributes during refrigeration storage and microstructure changes. *Lwt*, 140, 110793.

Benmeziane-Derradji, F., Djermoune-Arkoub, L., Ayat, N. E. H., & Aoufi, D. (2020). Impact of roasting on the physicochemical, functional properties, antioxidant content and microstructure changes of Algerian lentil (*Lens culinaris*) flour. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(5), 2840-2853.

Bhardwaj, M., Masand, N., Sahoo, J., & Patil, V. M. (2020). Risk Assessment of Cosmetic Preservatives Using QSAR: QSAR of Cosmetic Preservatives. *International Journal of Quantitative Structure-Property Relationships (IJQSPR)*, 5(1), 44-62.

Boizot, N., & Charpentier, J. P. (2006). Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. *Cahier des Techniques de l'INRA*, 79-82.

Bouachir, S., Chetibi, H., & Roula, S. E. (2011). *Etude de l'influence de fumier de volailles sur la germination et la croissance du pois chiche en pépinière expérimentale* (Doctoral dissertation, université de jijel).

Brink, M., Belay, G., & De Wet, J. M. J. (2006). *Plant resources of tropical Africa I: Cereals and pulses* (pp. 54-57). Wageningen, The Netherlands: PROTA Foundation.

Brouwer, I., Traoré, A. S., & Trèche, S. (2004). Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles en Afrique de l'Ouest: le rôle des technologues alimentaires et des nutritionnistes. Actes du 2ème atelier international, Ouagadougou, 23-28 Novembre 2003.

Champ, M. M. J. (2002). A new image is needed for pulses, which has to be based on the health benefits of these foods but also on attractive recipes, new ready-to-eat products manufactured by the food industries and much more use of pulses in restaurants and school canteens. *British Journal of Nutrition*, 88(3), S237.

Cherif, C., Hassanat, F., Claveau, S., Girard, J., Gervais, R., & Benchaar, C. (2018). Faba bean (*Vicia faba*) inclusion in dairy cow diets: Effect on nutrient digestion, rumen fermentation, nitrogen utilization, methane production, and milk performance. *Journal of dairy science*, 101(10), 8916-8928.

Craig, J. F., & Babaluk, J. A. (1989). Relationship of condition of walleye (*Stizostedion vitreum*) and northern pike (*Esox lucius*) to water clarity, with special reference

to Dauphin Lake, Manitoba. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 46(9), 1581-1586.

David, O., Arthur, E., Kwadwo, S. O., Badu, E., & Sakyi, P. (2015). Proximate composition and some functional properties of soft wheat flour. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4(2), 753-758.

Deulvot, C., Charrel, H., Marty, A., Jacquin, F., Donnadiou, C., Lejeune-Hénaut, I., ... & Aubert, G. (2010). Highly-multiplexed SNP genotyping for genetic mapping and germplasm diversity studies in pea. *BMC genomics*, 11(1), 1-10.

Diomande, M., Koko, A. C., Kouame, K. B., Beugre, G. A. M., & Bohoua, L. G. (2017). Evaluation des propriétés fonctionnelles et activité antioxydante d'amandes de mangue produites en Côte d'Ivoire. *International Journal of Advancements in Research & Technology*, 6(11), 6-29.

Dembélé, A., Sissoko, L., Togola, I., Traoré, N., Sidibé, L., & Diallo, D. (2020). Enquête ethnobotanique de trois plantes utilisées dans la prise en charge traditionnelle de l'hypertension artérielle au Mali: *Balanites aegyptiaca* (L.) Del., *Piliostigma reticulatum* (DC), *Hochst* et *Bauhinia rufescens* (L.). *International Journal of Applied Research*, 6(10), 998-1001.

Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjemi, B., Boutassouna, D., Stocker, P., & Vidal, N. (2006). Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food chemistry*, 97(4), 654-660.

Doumi, A. (2015). *Analyse du comportement de 06 lignées de petit pois (Pisum sativum L.) soumises au stress salin* (Doctoral dissertation, Université Mohamed BOUDIAF de M'Sila) <https://www.doc-developpement-durable.org>

Duke, J. (2012). *Handbook of legumes of world economic importance*. Springer Science & Business Media.

El-Adawy, T. A., Rahma, E. H., El-Bedawey, A. A., & El-Beltagy, A. E. (2003). Nutritional potential and functional properties of germinated mungbean, pea and lentil seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, 58(3), 1-13.

El-Adawy, T. A., Rahma, E. H., El-Bedawey, A. A., & El-Beltagy, A. E. (2003). Nutritional potential and functional properties of germinated mungbean, pea and lentil seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, 58(3), 1-13.

Ettoumi, L. Y., & Chibane, M. (2015). Some physicochemical and functional properties of pea, chickpea and lentil whole flours. *International Food Research Journal*, 22(3), 987.

Faller, A. L. K., & Fialho, E. (2009). The antioxidant capacity and polyphenol content of organic and conventional retail vegetables after domestic cooking. *Food Research International*, 42(1), 210-215.

Farooq, Z., & Boye, J. I. (2011). Novel food and industrial applications of pulse flours and fractions. *Pulse foods: Processing, quality and nutraceutical applications*, 283-323.

Farooq, Z., & Boye, J. I. (2011). Novel food and industrial applications of pulse flours and fractions. *Pulse foods: Processing, quality and nutraceutical applications*, 283-323.

Fernandez-Orozco, R., Zieliński, H., & Piskula, M. K. (2003). Contribution of low-molecular-weight antioxidants to the antioxidant capacity of raw and processed lentil seeds. *Food/Nahrung*, 47(5), 291-299.

Fondevilla, S., Küster, H., Krajinski, F., Cubero, J. I., & Rubiales, D. (2011). Identification of genes differentially expressed in a resistant reaction to *Mycosphaerella pinodes* in pea using microarray technology. *BMC genomics*, 12(1), 1-15.

Ganesan, K., & Xu, B. (2017). Polyphenol-rich lentils and their health promoting effects. *International journal of molecular sciences*, 18(11), 2390.

Ghasemzadeh, R., & Ghavidel, R. A. (2011). Processing and assessment of quality characteristic of cereals-legumes composite weaning foods. In *2011 International*

*Conference on Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics. IPCBEE IACSIT Press, Singapore (Vol. 5, pp. 1-3).*

Guggenbuhl, N. (2006). Les antioxydants a la source. *Bull. Soc. belge Ophtalmol*, 301, 41-45.

Hölzel, M., Huang, S., Koster, J., Øra, I., Lakeman, A., Caron, H., ... &Bernards, R. (2010). NF1 is a tumorsuppressor in neuroblastomathatdeterminesretinoicacidresponse and diseaseoutcome. *Cell*, 142(2), 218-229.

Herida, M., Sednaoui, P., Laurent, E., & Goulet, V. (2004). Les infections à gonocoque en 2001 et 2002: données du réseau national des gonocoques (Rénago). *Bull Epidemio Hebdo*, 15, 59-60.

IRé, M. (1998). Microencapsulation by spray drying. *Dryingtechnology*, 16(6), 1195-1236.

Khazaei, H., Subedi, M., Nickerson, M., Martínez-Villaluenga, C., Frias, J., &Vandenberg, A. (2019). Seedprotein of lentils: Currentstatus, progress, and food applications. *Foods*, 8(9), 391.

Kubola, J. and S. Siriamornpun (2008). "Phenolic contents and antioxidant activities of bitter gourd (*Momordica charantia* L.) leaf, stem and fruit fraction extracts in vitro." *Food chemistry* **110**(4): 881-890.

Kubola, J., &Siriamornpun, S. (2008). Phenolic contents and antioxidantactivities of bitter gourd (*Momordicacharantia* L.) leaf, stem and fruit fraction extracts in vitro. *Food chemistry*, 110(4), 881-890.

Kumaran, T., & Citarasu, T. (2015). Ethnopharmacological investigation and antibacterialevaluation of the methanolicextract of *Asparagus racemosus* (Shatavari). *Tropical Plant Research*, 2(3), 175-179.

Kusumawati, I. and G. Indrayanto (2013). Natural antioxidants in cosmetics. *Studies in natural products chemistry*, Elsevier. **40**: 485-505.

Kusumawati, I., & Indrayanto, G. (2013). Natural antioxidants in cosmetics. *Studies in natural products chemistry*, 40, 485-505.

Kusumawati, I., & Indrayanto, G. (2013). Natural antioxidants in cosmetics. *Studies in natural products chemistry*, 40, 485-505.

Ladizinsky, G. (1987). Pulse domestication before cultivation. *Economic Botany*, 41(1), 60-65.

Lako, J., Trenerry, V. C., Wahlqvist, M., Wattanapenpaiboon, N., Sotheeswaran, S., & Premier, R. (2007). Phytochemical flavonols, carotenoids and the antioxidant properties of a wide selection of Fijian fruit, vegetables and other readily available foods. *Food Chemistry*, 101(4), 1727-1741.

Lako, J., V. C. Trenerry, et al. (2007). "Phytochemical flavonols, carotenoids and the antioxidant properties of a wide selection of Fijian fruit, vegetables and other readily available foods." *Food Chemistry* **101**(4): 1727-1741.

Li, H., Wang, X., Li, Y., Li, P., & Wang, H. (2009). Polyphenolic compounds and antioxidant properties of selected China wines. *Food chemistry*, 112(2), 454-460.

Li, T., Wang, C., Li, T., Ma, L., Sun, D., Hou, J., & Jiang, Z. (2018). Surface hydrophobicity and functional properties of citric acid cross-linked whey protein isolate: The impact of pH and concentration of citric acid. *Molecules*, 23(9), 2383.

Lim, C., Kim, K. J., & Maglio, P. P. (2018). Smart cities with big data: Reference models, challenges, and considerations. *Cities*, 82, 86-99.

Liu, C., Wang, X., Ma, H., Zhang, Z., Gao, W., & Xiao, L. (2008). Functional properties of protein isolates from soybeans stored under various conditions. *Food chemistry*, 111(1), 29-37.

Loridon, K., McPhee, K., Morin, J., Dubreuil, P., Pilet-Nayel, M. L., Aubert, G., & Burstin, J. (2005). Microsatellite marker polymorphism and mapping in pea (*Pisum sativum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 111(6), 1022-1031.

Macheix, J. J. (1996). Les composés phénoliques des végétaux: quelles perspectives à la fin du XX<sup>ème</sup> siècle?. *Acta botanica gallica*, 143(6), 473-479.

Malhotra, R. S., Pundir, R. P. S., & Slinkard, A. E. (1987). Genetic resources of chickpea [*Cicer arietinum*].

Mench, M., Coussin, F., Mocquot, B., Bussière, S., Prunet, T., & Lagriffoul, A. (1996). Evaluation des apports d'un biotest végétal et de la spéciation des éléments traces à la mise au point d'une batterie de tests d'écotoxicologie terrestre applicable aux sols et aux déchets (sous-thème: biotest végétal).

Milardović, S., Iveković, D., & Grabarić, B. S. (2006). A novel amperometric method for antioxidant activity determination using DPPH free radical. *Bioelectrochemistry*, 68(2), 175-180.

Mishra, S. K., Sharma, B., & Sharma, S. K. (2007). Genetics and cytogenetics of lentil. In *Lentil* (pp. 187-208). Springer, Dordrecht.

Mojab, F., A. Hamed, et al. (2008). "Hydrodistilled volatile constituents of the leaves of *Daucus carota* L. subsp. *sativus* (Hoffman.) Arcang. (Apiaceae) from Iran." *Journal of Essential Oil Bearing Plants* 11(3): 271-277.

Mouhouche, F., & Fleurat-Lessard, F. (2003). Susceptibility of several cultivars of cowpea seeds to the infestation either by the specialised pest, *Callosobruchus maculatus* or an unspecialised pest, *Sitophilus oryzae*. *Sciences des Aliments (France)*.

Molinelli, M. L. *Carpodidáctica: estrategia multimedia complementaria a la enseñanza presencial del fruto en la carrera de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional de Córdoba* (Master's thesis).

Ndife J. Abdulraheem ; L. and Zakari U., 2011: Evaluation of the nutritional and sensory quality of functional breads produced from whole wheat and soya bean flour blends » *African Journal of Food Science* ,5(8),466-472.

Nijveldt, R. J., Van Nood, E. L. S., Van Hoorn, D. E., Boelens, P. G., Van Norren, K., & Van Leeuwen, P. A. (2001). Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 74(4), 418-425.

Oliver, M. J., Tuba, Z., & Mishler, B. D. (2000). The evolution of vegetative desiccation tolerance in land plants. *Plant Ecology*, 151(1), 85-100.

Ouoba, A., Nadembega, S., Konaté, M. N. G., Nandkangré, H., Ouédraogo, M., & Sawadogo, M. Variabilité de la coloration du tégument des graines de voandzou cultivées au Burkina Faso et les noms locaux associés.

Pelletier, J., & Hopquin, B. (1994). *Mémento désherbage des légumes*. Diffusion, Lavoisier Tec & Doc.

Prioul, S., Frankewitz, A., Deniot, G., Morin, G., & Baranger, A. (2004). Mapping of quantitative trait loci for partial resistance to *Mycosphaerella pinodes* in pea (*Pisum sativum* L.), at the seedling and adult plant stages. *Theoretical and Applied Genetics*, 108(7), 1322-1334.

Rio, C. (2017). Les légumes secs, aliments de choix à valoriser. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 52(2), 71-77.

Robertson, J. A., de Monredon, F. D., Dysseler, P., Guillon, F., Amado, R., & Thibault, J. F. (2000). Hydration properties of dietary fibre and resistant starch: a European collaborative study. *LWT-Food Science and Technology*, 33(2), 72-79.

Sakr, N., & Moussa, E. H. (2007). Comparaison de la qualité des blés libanais à celle des variétés importées de l'étranger et destinées à la préparation du pain libanais. *Lebanese science journal*, 8(2), 87.

Saxena, M. C. (1987). Agronomy of chickpea. In "The chickpea" Saxena M. C. & Singh K.B., Ed. Wallingford, UK: CAB International, p 207.

Schorsch, C. (2007). *Formulation des mousses laitières*. Ed. Techniques Ingénieur.

Sharififar, F., Pournourmohammadi, S. H., Arabnezhad, M., Rastegarianzadeh, R., Ranjbaran, O., & Pourhemati, A. (2009). Immunomodulatory activity of aqueous extract of *Heracleum persicum* Desf. in mice.

Sharififar, F., S. Pournourmohammadi, et al. (2009). "Immunomodulatory activity of aqueous extract of *Heracleum persicum* Desf. in mice."

Singh, B., Singh, J. P., Kaur, A., & Singh, N. (2017). Phenolic composition and antioxidant potential of grain legume seeds: A review. *Food Research International*, 101, 1-16.

Sanjeewa W.T., Wansundra J.P., Pietrasik, Z. and Shand, P. J., 2010. Characterization of chickpea (*Cicer arietinum* L) floué and application in low-fat pork bologna as a model system » *Food Research International*, 43(2), 617-626.

Singh, H., Kumar, J., Smithson, J. B., & Haware, M. P. (1987). Complementation between genes for resistance to race 1 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceri* in chickpea. *Plant pathology*, 36(4), 539-543.

Suazo, Y., Davidov-Pardo, G., & Arozarena, I. (2014). Effect of fermentation and roasting on the phenolic concentration and antioxidant activity of cocoa from Nicaragua. *Journal of Food Quality*, 37(1), 50-56.

Tacon, A. G. (1995). *Pathologie nutritionnelle des poissons. Signes morphologiques des carences et intoxications alimentaires chez les poissons d'élevage*. Food & Agriculture Org.

Tripathi, S. (2014). "Ziziphus jujuba: a phytopharmacological review." *International Journal of Research and Development in Pharmacy & Life Sciences* 3(3): 959-966.

Tripathi, S. (2014). *Ziziphus jujuba: A phytopharmacological review*.

Vermerris, W. and R. Nicholson (2008). Families of phenolic compounds and means of classification. *Phenolic compound biochemistry*, Springer: 1-34.

Widad, Z., & Amel, M. (2020). *Etude de l'activité antioxydante chez trois légumineuses alimentaires (Pois chiche, Lentille et Niébé)* (Doctoral dissertation).

Wink, M. (2013). Evolution of secondary metabolites in legumes (Fabaceae). *South African Journal of Botany*, 89, 164-175.

Xu, B., & Chang, S. K. (2009). Phytochemical profiles and health-promoting effects of cool-season food legumes as influenced by thermal processing. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(22), 10718-10731.

Yadav, S. S., McNeil, D., & Stevenson, P. C. (Eds.). (2007). *Lentil: An ancient crop for modern times*. Springer Science & Business Media.

Yu, J., Ahmedna, M., & Goktepe, I. (2007). Peanut protein concentrate: Production and functional properties as affected by processing. *Food chemistry*, 103(1), 121-129.

Yuan, G. F., Sun, B., Yuan, J., & Wang, Q. M. (2009). Effects of different cooking methods on health-promoting compounds of broccoli. *Journal of Zhejiang University Science B*, 10(8), 580-588.

Zou, Y., Chang, S. K., Gu, Y., & Qian, S. Y. (2011). Antioxidant activity and phenolic compositions of lentil (*Lens culinaris* var. Morton) extract and its fractions. *Journal of agricultural and food chemistry*, 59(6), 2268-2276.

Zhou K., Slavin M., Lutterodt H., Whent M., Eskin M., and Yu L., 2013. Cereals and legumes: Biochemistry of food » .Elsevier, 46

# *Annexes*

## Annexe I : Courbes d'étalonnage

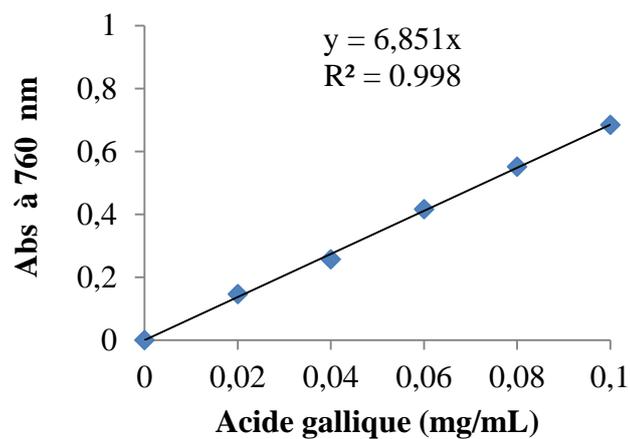


Figure 1: Courbe étalon pour le dosage des polyphénols totaux

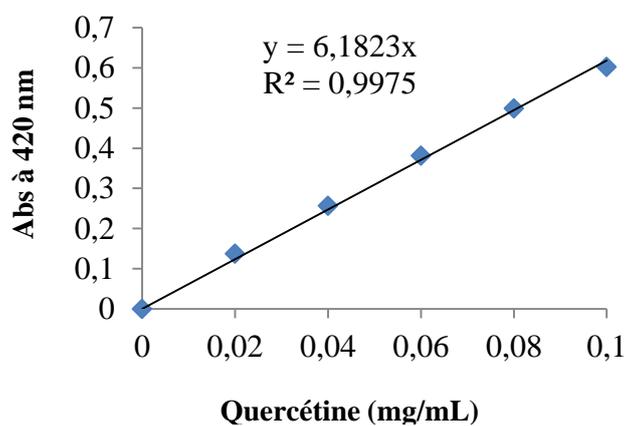


Figure 2: Courbe étalon pour le dosage des flavonoïdes.

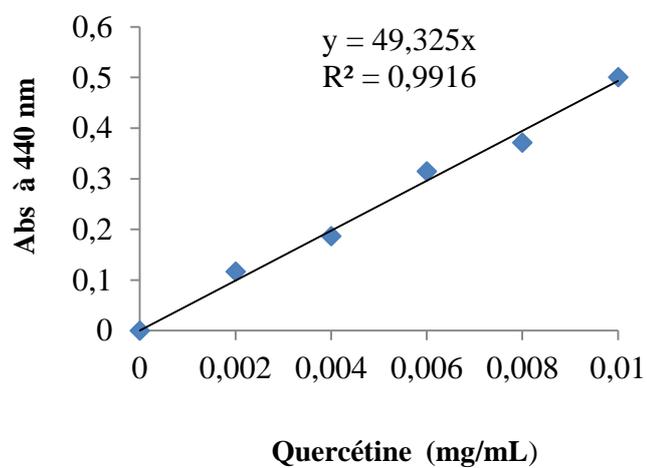


Figure 3 : Courbe étalon pour le dosage des flavonols

**Annexe II:** Photographie de quelques appareils utilisés.



**Balance**



**Centrifugeuse**



**Agitateur**



**Pompe à vide**

**Annexe III: Questionnaire de l'analyse hédonique des farines de légumineuses  
« Atamine »**

Nom : .....

Prénom : .....

Age : .....

Sexe : F ou M

Date : .....

**1. Préférence générale :**

Dans l'optique de réaliser une évaluation sensorielle des farines de légumineuses, huit échantillons numérotés **1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8** vous sont présentés. Il vous est demandé de les goûter seul et avec les dattes successivement et de les classer par ordre de préférence, en attribuant une note de 1 à 9 pour les huit échantillons. Sachant que la note 1 correspond au moins préféré et 9 au plus préféré selon l'échelle présentée ci-dessous :

**N.B :** Veuillez rincer la bouche après chaque dégustation d'un échantillon.

1 : Extrêmement désagréable,

2 : Très désagréable,

3 : Désagréable,

4 : Assez désagréable,

5 : Ni agréable ni désagréable,

6 : Assez agréable,

7 : Agréable,

8 : Très agréable,

9 : Extrêmement agréable.

Echantillon	1	2	3	4	5	6	7	8
Note								

**2. Paramètre ayant motivé la préférence générale :**

❖ Quelles sont les caractéristiques organoleptiques qui ont motivé votre préférence :

La couleur

La consistance

Le goût

L'odeur

La Texture

**\*Merci pour votre coopération \***



**2-Sensation en bouche :****A.Le goût d'Atamine est-il :**

- (1) Absent
- (2) Faible
- (3) Moyen
- (4) Fort
- (5) Très fort

Echantillon	1	2	3	4	5	6	7	8
Note								

**B. La consistance d'Atamine est-elle :**

- (1) Fortement légère
- (2) Légère
- (3) Peu légère
- (4) Consistante
- (5) Très consistante

Echantillon	1	2	3	4	5	6	7	8
Note								

**3- Attribuez pour chaque échantillon une note de préférence entre 1à9, sachant que le numéro 1 correspond à l'échantillon le moins préféré et le numéro 9 à celui le plus préféré.**

Echantillon	1	2	3	4	5	6	7	8
Note								

**4-Quels sont les paramètres qui ont motivé votre préférence ?**

- (1) La couleur d'Atamine
- (2) L'odeur d'Atamine
- (3) Le goût d'Atamine
- (4) La texture d'Atamine
- (5) La consistance d'Atamine
- (6) Autres (mentionnez)

Echantillon	1	2	3	4	5	6	7	8
Note								

**\*Merci pour votre coopération \***

## Résumé

Cette étude a été réalisée dans le but de déterminer quelques propriétés physico-chimiques, antioxydants et fonctionnelles des farines de légumineuses (lentilles noires, lentilles rouges, petits pois et pois chiches) d'une part et l'évaluation de l'impact de la grillade sur toutes ses propriétés d'autre part. Les résultats obtenus montrent que les farines étudiées présentent un pH compris entre 6,57 et 6,99, un taux d'humidité variant entre 2,33 % et 5 %. Les teneurs en polyphénols, flavonoïdes, flavonols et tanins condensés enregistrées varient de 59 à 116 mg EAG/100g MS, 14 à 25 mg EQ/100 g MS, et 5 à 9,88 mg EQ3G/100 g MS, respectivement. De plus, les extraits ethanoliques des différentes légumineuses ont montré une bonne activité antioxydant. De même, les résultats des propriétés fonctionnelles indiquent que les farines de légumineuses étudiées ont une bonne affinité à l'eau et à l'huile ce qui suscite leurs incorporation comme ingrédients dans d'autres matrices alimentaires. Pour l'effet du traitement thermique, nous avons constaté que la torréfaction a eu un effet significatif ( $p < 0,05$ ) variable sur les propriétés physico-chimiques, antioxydants et fonctionnelles variant d'un échantillon à un autre.

**Mots clés :** Légumineuses, Grillade, physico-chimie, antioxydants, activité antioxydant, propriétés fonctionnelles.

## Abstract

This study was carried out with the aim of determining some physico-chemical, antioxidant and functional properties of legume flours (black lentils, red lentils, peas and chickpeas) on the one hand and the evaluation of the impact of grilling on all its properties on the other hand. The results obtained show that the flours studied have a pH between 6.57 and 6.99, a moisture content varying between 2.33% and 5%. The levels of polyphenols, flavonoids, flavonols and condensed tannins recorded range from 59 to 116 mg EAG/100g MS, 5 to 9,88 mg EQ/100 g MS, 14 to 25 mg EQ /100 g MS, respectively. In addition, the ethanolic extracts of the different legumes showed good antioxidant activity. Similarly, the results of the functional properties indicate that the legume flours studied have a good affinity to water and oil, which triggers their incorporation as ingredients in other food matrices. For the effect of heat treatment, we found that roasting had a significant ( $p < 0.05$ ) variable effect on physico-chemical, antioxidant and functional properties varying from one sample to another.

**Key word:** Legumes, Grilling, physico-chemistry, antioxidants, antioxidant activity, functional properties.